Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2013/102

Région du Québec

Modélisation du potentiel de rétablissement de la métapopulation de saumon Atlantique (*Salmo salar*) de l'île d'Anticosti.

Mélanie Brun[1] et Étienne Prévost[2]

[1]Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli, Québec
CANADA G5H 3Z4

[2]UMR INRA/UPPA Ecobiop
Quartier Ibarron
64310 St Pée-sur-Nivelle - France.

Décembre 2013

Canada

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2013
ISSN 1919-5044

La présente publication doit être citée comme suit :

Brun, M. et Prévost, É. 2013. Modélisation du potentiel de rétablissement de la métapopulation de saumon atlantique *(Salmo salar)* de l'île d'Anticosti. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2013/102. vii + 149 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ VI

ABSTRACT VII

RAPPORT 1 - MODÉLISATION DE LA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR* L.) DE L'ÎLE D'ANTICOSTI (QUÉBEC) - FÉVRIER 2012 1

1 RÉSUMÉ DE L'ÉVALUATION 1

2 INTRODUCTION 1

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES 2

3.1 L'île d'Anticosti et sa métapopulation de saumon atlantique (*Salmo salar L.*) 2

3.2 Données 4

3.3 Modèle pour l'estimation de l'abondance et de la répartition spatiale des adultes : modèle M0 7

3.3.1 Notation 7

3.3.2 Retour et répartition spatiale des adultes 10

3.3.3 Captures sportives 10

3.3.4 DAG et priors pour les paramètres 11

3.4 Modèle pour l'évaluation de la tendance de la métapopulation : modèle $M1$ 13

3.5 Inférences Bayésiennes 14

4 RÉSULTATS 15

4.1 Modèle M0 15

4.1.1 Valeurs des paramètres 15

4.1.2 Retour total et répartition spatiale 17

4.1.3 Captures sportives 18

4.2 Modèle M1 20

4.2.1 Évolution de la métapopulation de 1993 à 2007 20

4.2.2 Évolution de la métapopulation de 1997 à 2011 22

5 DISCUSSION ET CONCLUSION 23

6 RÉFÉRENCES 24

ANNEXE 1. DONNÉES DE DÉNOMBREMENT ET ACTIVITÉ DE PÊCHE SPORTIVE POUR LA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR L.*) DE L'ÎLE D'ANTICOSTI (QUÉBEC). 25

ANNEXE 2. ECHANTILLONNAGE MCMC (MONTE CARLO MARKOV CHAIN) DU MODÈLE D'ESTIMATION DE L'ABONDANCE ET DE LA RÉPARTITION SPATIALE DES ADULTES DE LA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR L.*) DE L'ÎLE D'ANTICOSTI (QUÉBEC). 31

RAPPORT 2 - ÉVALUATION DU POTENTIEL DE RÉTABLISSEMENT DE LA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR L.*) DE L'ÎLE D'ANTICOSTI (QUÉBEC) - NOVEMBRE 2012 – 37
1 RÉSUMÉ DE L'ÉVALUATION 37
2 INTRODUCTION 37
3 MATÉRIEL ET MÉTHODES 38
3.1 L'île d'Anticosti et sa métapopulation de saumon atlantique (*Salmo salar L.*) 38
3.2 Notation 40
3.3 Modèle pour la dynamique de renouvellement de la métapopulation 45
3.3.1 Processus d'observation : améliorations du modèle 46
3.3.2 Processus dynamique : modèle de Ricker 46
3.3.3 DAG et priors pour les paramètres 49
3.3.4 Calcul des points de référence 51
3.4 Evaluation de l'impact de scénarios de gestion et d'une modification des paramètres du cycle biologique 53
3.5 Inférences Bayésiennes 54
4 RÉSULTATS 55
4.1 Situation actuelle de la métapopulation 55
4.1.1 Paramètres et effectifs totaux 55
4.1.2 Relation stock-recrutement et points de référence 58
4.1.3 Comparaison avec la limite de conservation actuelle 60
4.2 Evolution future de la population, de 2013 à 2027 61
4.2.1 Paramètres de la dynamique de renouvellement et points de référence 61
4.2.2 Effectifs et situation par rapport aux points de référence 63
5 DISCUSSION ET CONCLUSION 76
6 RÉFÉRENCES 78
ANNEXE 1. RIVIÈRE À L'HUILE 80
ANNEXE 2. RIVIÈRE MACDONALD 83
ANNEXE 3. RIVIÈRE À LA PATATE 86
ANNEXE 4. RIVIÈRE VAURÉAL 89
ANNEXE 5. RIVIÈRE AUX SAUMONS 92
ANNEXE 6. RIVIÈRE DU RENARD 95
ANNEXE 7. PETITE RIVIÈRE DE LA LOUTRE 97
ANNEXE 8. RIVIÈRE BELL 99
ANNEXE 9. RUISSEAU BOX 102
ANNEXE 10. RIVIÈRE DAUPHINÉ 105
ANNEXE 11. PETITE RIVIÈRE DE LA CHALOUPE 108
ANNEXE 12 RIVIÈRE MACCAN 110

ANNEXE 13 RIVIÈRE DE LA CHALOUPE 112
ANNEXE 14 RIVIÈRE FERRÉE 115
ANNEXE 15 RUISSEAU MARTIN 118
ANNEXE 16 RIVIÈRE DU PAVILLON 121
ANNEXE 17 RIVIÈRE AUX PLATS 123
ANNEXE 18 RIVIÈRE CHICOTTE 126
ANNEXE 19 RIVIÈRE GALIOTE 129
ANNEXE 20 RIVIÈRE DU BRICK 132
ANNEXE 21 RIVIÈRE JUPITER 135
ANNEXE 22 RIVIÈRE À LA LOUTRE 138
ANNEXE 23 RIVIÈRE AUX CAILLOUX 141
ANNEXE 24 RIVIÈRE SAINTE-MARIE 144
ANNEXE 25 RIVIÈRE BEC-SCIE 147

RÉSUMÉ

En 2010, le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) a évalué le saumon atlantique (*Salmo salar*) de l'île d'Anticosti (unité désignable 9) comme étant en voie de disparition au Canada. Ce document présente la modélisation de la population afin d'établir les objectifs de rétablissement en fonction de la population et d'effectuer des projections à long terme du rétablissement de la population en vue d'appuyer l'évaluation du potentiel de rétablissement (ÉPR). Le travail de modélisation a été fait en deux parties. Un premier rapport présenté en février 2012 avait pour but d'évaluer l'évolution de 1984 à 2011, la situation actuelle et la trajectoire récente de cette métapopulation en termes d'abondance total des adultes ainsi que sa répartition dans les 25 rivières à saumon de l'île d'Anticosti. Le second rapport présenté en décembre 2012 avait pour objectif d'évaluer les probabilités de rétablissement de la métapopulation, le moment où il sera atteint, ainsi que les niveaux d'exploitation qui ne risquent pas de compromettre la survie ou le rétablissement de l'espèce. Le modèle final inclut également les dernières données disponibles, i.e. les données de 2012.

L'étude de la trajectoire de la métapopulation de l'île d'Anticosti de 1993 à 2011 a confirmé la diminution du nombre d'adultes présentée par le COSEPAC (2011), avec une réduction totale moyenne d'environ 43 % (42,87 % avec un intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % égal à [13,13; 62,47]) sur la période. Par contre, l'étude de sa trajectoire sur les trois dernières générations (i.e. de 1997 à 2011) semble montrer une inversion de la tendance, malgré que le paramètre de pente de la régression utilisée soit très proche de 0 (valeur 0 comprise dans l'intervalle de crédibilité Bayésien à 90 %). Les estimations d'abondance concernant les dernières années montrent une augmentation des effectifs depuis 2006. Ainsi, la métapopulation de saumon atlantique de l'île d'Anticosti semble avoir augmentée depuis l'étude présentée par le COSEPAC, avec un effectif moyen d'environ 4 000 adultes en 2011.

Malgré une tendance à l'augmentation depuis 2006, l'abondance des retours d'adultes sur l'île d'Anticosti diminue en 2011 et 2012. Le modèle présenté dans cette étude, construit à partir des données propres à la métapopulation, a permis d'estimer une limite de conservation (LC) qui est nettement inférieure à la LC utilisée actuellement pour la gestion et basée sur les données de 6 rivières témoins du Québec (Fontaine et Caron 1999). Les paramètres actuels de la dynamique de renouvellement montrent que la population est viable. La probabilité que le stock de géniteurs ait été supérieur à la LC varie entre 0,95 et 1. Plusieurs scénarios de productivité (variation de la survie et de la capacité d'accueil) et de gestion de la pêche sportive ont été testés et aucun ne montre d'effet de la pêche sportive sur la diminution des effectifs de retours d'adultes.

Ce document intègre les deux rapports produits par le consultant.

Recovery Potential Modelling of Anticosti Island Atlantic salmon (*Salmo salar*) metapopulation

ABSTRACT

In 2010, the Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada (COSEWIC) designated the Anticosti Island (Designatable Unit 9) Atlantic salmon (*Salmo salar*) population as an endangered species in Canada. This document presents population modelling to determine population-based recovery targets and conduct long-term projections of population recovery in support of a recovery potential assessment (RPA). The modelling work was done in two parts. A first report in February 2012 was designed to assess changes from 1984 to 2011, the current situation and the recent trajectory of this metapopulation in terms of total adult abundance and its distribution in the 25 Anticosti Island salmon rivers. A second report was presented in December 2012 to assess the metapopulation's chances of recovery, when this will be achieved and exploitation rates that will not compromise the survival or recovery of the species. The final model also includes the most recent data available, i.e. 2012 data.

The review of the Anticosti Island metapopulation's trajectory from 1993 to 2011 confirmed the decrease in the number of adults indicated by COSEWIC (2011), with an average overall decrease of 43% (42.87% with a 90% Bayesian Credibility Interval, equal to [13.13; 62.47]) over that time period. However, the study of its trajectory for the last three generations (i.e. from 1997 to 2011) seems to show a trend reversal, despite the fact that the slope parameter from regression used was very close to 0 (0 value included in the 90% Bayesian Credibility Interval). Abundance estimates for recent years show an increase in numbers since 2006. The Anticosti Island Atlantic salmon metapopulation therefore appears to have increased since the COSEWIC study was presented. An average of 4000 adults was reported in 2011.

Despite this upward trend since 2006, adult returns to Anticosti Island decreased in 2011 and 2012. The model presented in this study—produced using data specific to the metapopulation—was used to estimate the conservation limit (CL), which is significantly lower than the CL currently used for management purposes and is based on data from the six Quebec control rivers (Fontaine and Caron 1999). Current recovery dynamics parameters indicate that the population is viable. The probability that the broodstock was over the CL varies between 0.95 and 1. Several productivity (variation in survival and rearing capacity) and sport fishing management scenarios were tested, and none indicated that sport fishing has an impact on the decreasing number of returning adults.

This document includes the two reports prepared by the consultant.

RAPPORT 1 - MODÉLISATION DE LA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR* L.) DE L'ÎLE D'ANTICOSTI (QUÉBEC) - FÉVRIER 2012

1 RÉSUMÉ DE L'ÉVALUATION

En novembre 2010, la métapopulation de saumon atlantique (*Salmo salar L.*) de l'île d'Anticosti a été désignée « en voie de disparition » par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). Le travail présenté dans ce rapport a pour but d'évaluer l'évolution, de 1984 à 2011, la situation actuelle et la trajectoire récente de cette métapopulation en termes d'abondance total des adultes ainsi que sa répartition dans les 25 rivières à saumon de l'île d'Anticosti.

L'étude de la trajectoire de la métapopulation de l'île d'Anticosti de 1993 à 2011 a confirmé la diminution du nombre d'adultes présentée par le COSEPAC (2011), avec une réduction totale moyenne d'environ 43 % (42,87 % avec un intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % égal à [13,13; 62,47]) sur la période. Par contre, l'étude de sa trajectoire sur les trois dernières générations (i.e. de 1997 à 2011) semble montrer une inversion de la tendance, malgré que le paramètre de pente de la régression utilisée soit très proche de 0 (valeur 0 comprise dans l'intervalle de crédibilité Bayésien à 90 %). Les estimations d'abondance concernant les dernières années montrent une augmentation des effectifs depuis 2006. Ainsi, la métapopulation de saumon atlantique de l'île d'Anticosti semble avoir augmentée depuis l'étude présentée par le COSEPAC, avec un effectif moyen d'environ 4 000 adultes en 2011.

2 INTRODUCTION

Le saumon atlantique (*Salmo salar L.*) est une espèce amphihaline, anadrome et phylopatrique (Webb *et al.* 2007). Son cycle de vie se divise en deux phases :

- une phase de reproduction et de croissance des juvéniles qui se déroule en eau douce ;
- et une phase de croissance des adultes qui a lieu dans les eaux salées de l'océan Atlantique.

Pour les populations canadiennes (COSEPAC 2011), la première phase dure entre une et huit années et la deuxième phase dure entre une et quatre années. Les saumons ayant passé un hiver en mer sont appelés madeleineaux, ou unibermarins, et ceux ayant passé plus de deux hivers en mer sont appelés rédibermarins, ou pluribermarins. Après leur phase de croissance dans l'océan, les adultes retournent dans leur rivière natale avec une fidélité forte (phénomène de homing) pour se reproduire. Cette espèce comprend également d'autres phénotypes mais ces derniers ne sont pas considérés dans ce rapport.

La métapopulation de saumon atlantique de l'île d'Anticosti (Québec) fait l'objet d'un suivi depuis 1984. En novembre 2010, elle a été désignée « en voie de disparition » par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC 2011). La désignation de ce statut est basée sur une étude montrant un déclin d'environ 40 % du nombre total d'adultes de 1993 à 2007, avec un effectif total de 2 414 en 2008. Après la désignation par le COSEPAC d'une population comme étant en péril, une évaluation du potentiel de rétablissement de cette dernière est réalisée. Cette évaluation intègre un avis scientifique dont fait partie le travail présenté dans ce rapport. Ce travail a pour but d'évaluer l'évolution, de 1984 à 2011, la situation actuelle et la trajectoire récente de la métapopulation en termes d'abondance totale d'adultes ainsi que sa répartition dans les 25 rivières à saumon de l'île d'Anticosti. Ce travail revisite l'étude présentée dans le rapport du COSEPAC (2011), en tirant partie des données

supplémentaires disponibles et en reprenant les méthodes d'estimation, en s'appuyant sur les développements en matière de modélisation hiérarchique Bayésienne.

Cette étude est initiée et financée par Pêches et Océans Canada (MPO). Les données ont été récoltées par le Parc National d'Anticosti, le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) et la Société des Établissements de Plein Air du Québec (SÉPAQ).

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 L'ÎLE D'ANTICOSTI ET SA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR L.*)

L'île d'Anticosti est située dans le golfe du Saint-Laurent (Québec) et possède 25 rivières dans lesquelles se reproduit le saumon atlantique (Figure 1). Depuis 1993, la rivière Du Brick ne possède plus le statut de rivière à saumon en vertu du Règlement de pêche du Québec (MRNF 2011). Cependant, étant donné la présence de certains individus dans cette rivière avant 1993, elle est considérée dans cette étude comme pouvant accueillir des saumons durant toute la période d'étude.

Dionne *et al.* (2008) ont montré qu'il existe un flux de gènes important entre les rivières de l'île alors que ce flux est très faible entre l'ensemble de ces rivières et les autres rivières à saumon du Québec et du Labrador. Les individus se reproduisant dans les rivières de l'île d'Anticosti peuvent donc être considérés comme étant issus d'une métapopulation isolée des autres populations canadiennes.

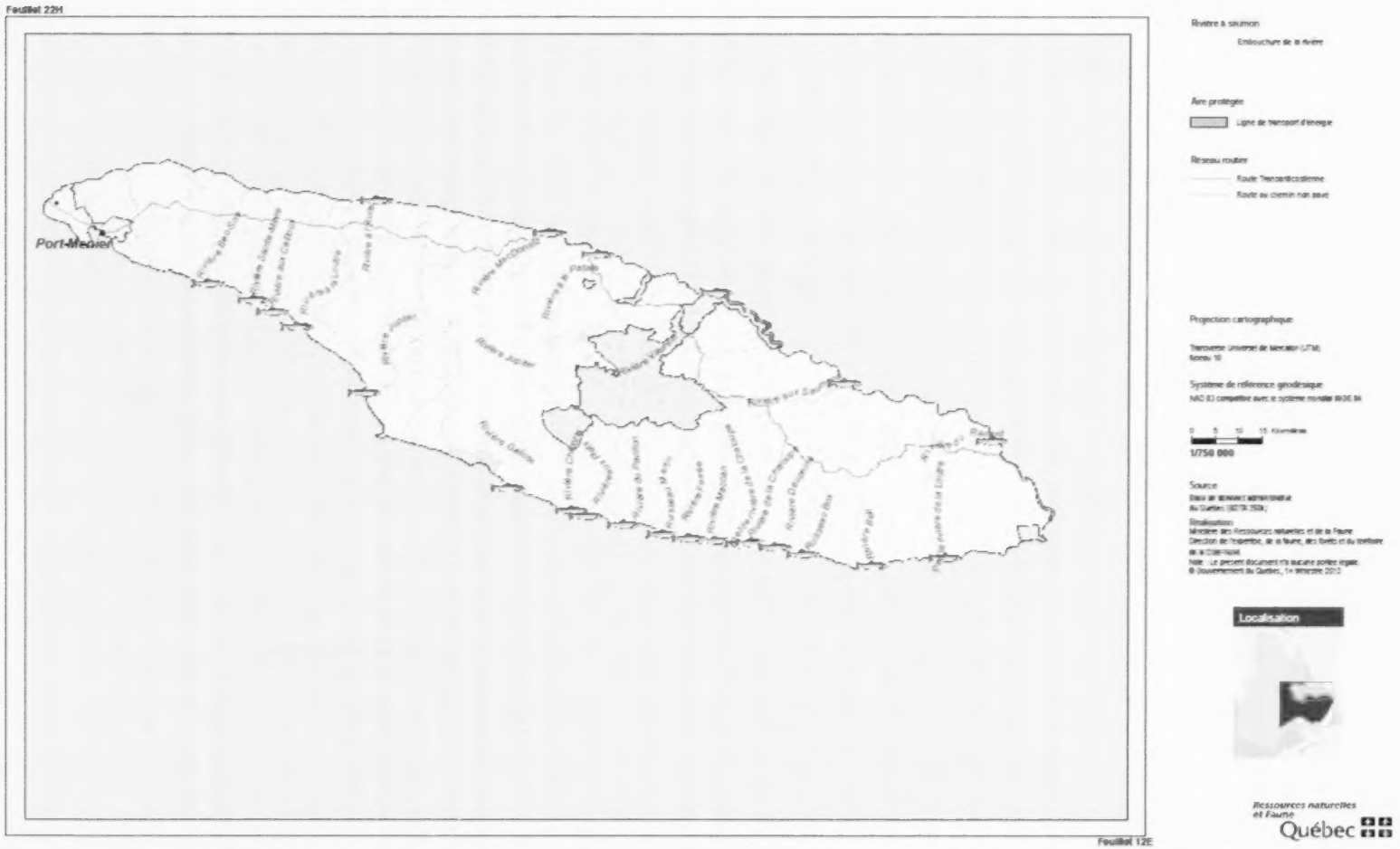


Figure 1. Île d'Anticosti (Québec) et ses 25 rivières à saumon atlantique (Salmo salar L.). La rivière du Brick a été ajoutée à la carte originale.

3.2 DONNÉES

Des dénombrements (Figure 2 et Annexe 1, Table A-1.1), effectués en apnée ou via des barrières de comptage, sont utilisés pour mesurer l'abondance totale des adultes de la métapopulation et sa répartition dans les 25 rivières à saumon de l'île d'Anticosti. L'effort d'échantillonnage est très variable selon les rivières et les années. Pour certaines rivières, les dénombrements ont été réalisés chaque année (e.g. la rivière Jupiter) et pour d'autres, aucun dénombrement n'est disponible (e.g. la rivière Sainte-Marie). Selon les années, une majorité (e.g. 21 rivières en 1985) ou une minorité (e.g. 1 rivière en 2010) des rivières ont été échantillonnées.

Des données concernant la pêche sportive sont également disponibles pour chaque rivière (Figure 3 et Annexe 1, Table A-1.2 et A-1.3). Ces données correspondent aux effectifs d'adultes capturés ainsi qu'à l'effort de pêche en nombre de jours de pêche et en nombre de pêcheurs, i.e. si 10 pêcheurs ont pêché durant 2 jours alors l'effort de pêche est de 20 jours pêche. Plusieurs mesures de gestion ont été mises en place concernant la pêche sportive. Premièrement, les individus de 63 cm et plus doivent être remis à l'eau depuis 2000, 2001 ou 2002 (selon les rivières). Ainsi, la pêche des rédibermarins, dont la taille est supérieure à 58 cm (MNRF 2011), est limitée. Deuxièmement, la pêche est fermée dans 19 rivières depuis 2002.

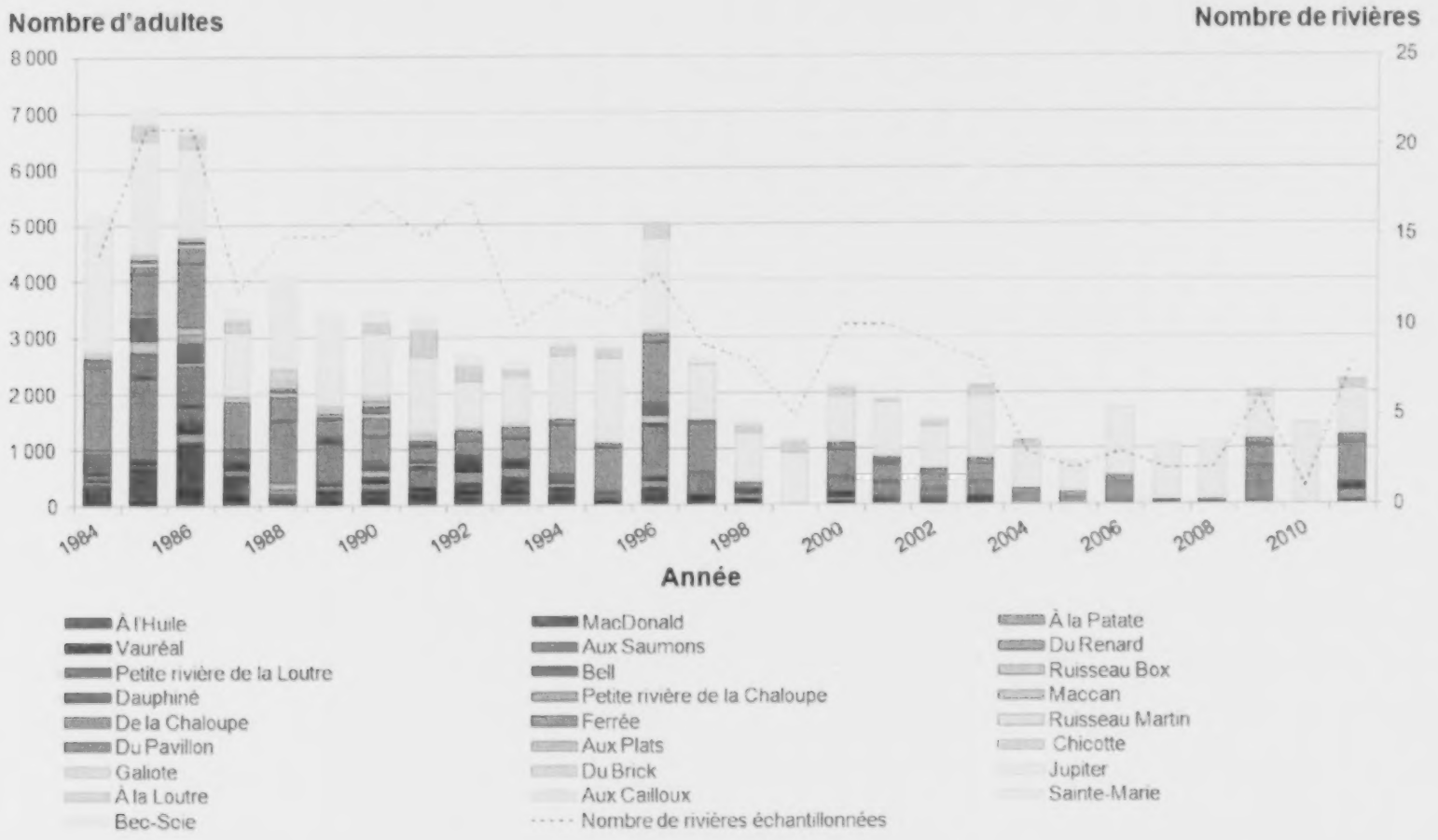


Figure 2. Dénombrements (barres) d'adultes de saumon atlantique (Salmo salar L.) dans les rivières échantillonnées de l'île d'Anticosti (Québec) et nombre de rivières échantillonnées (courbe).

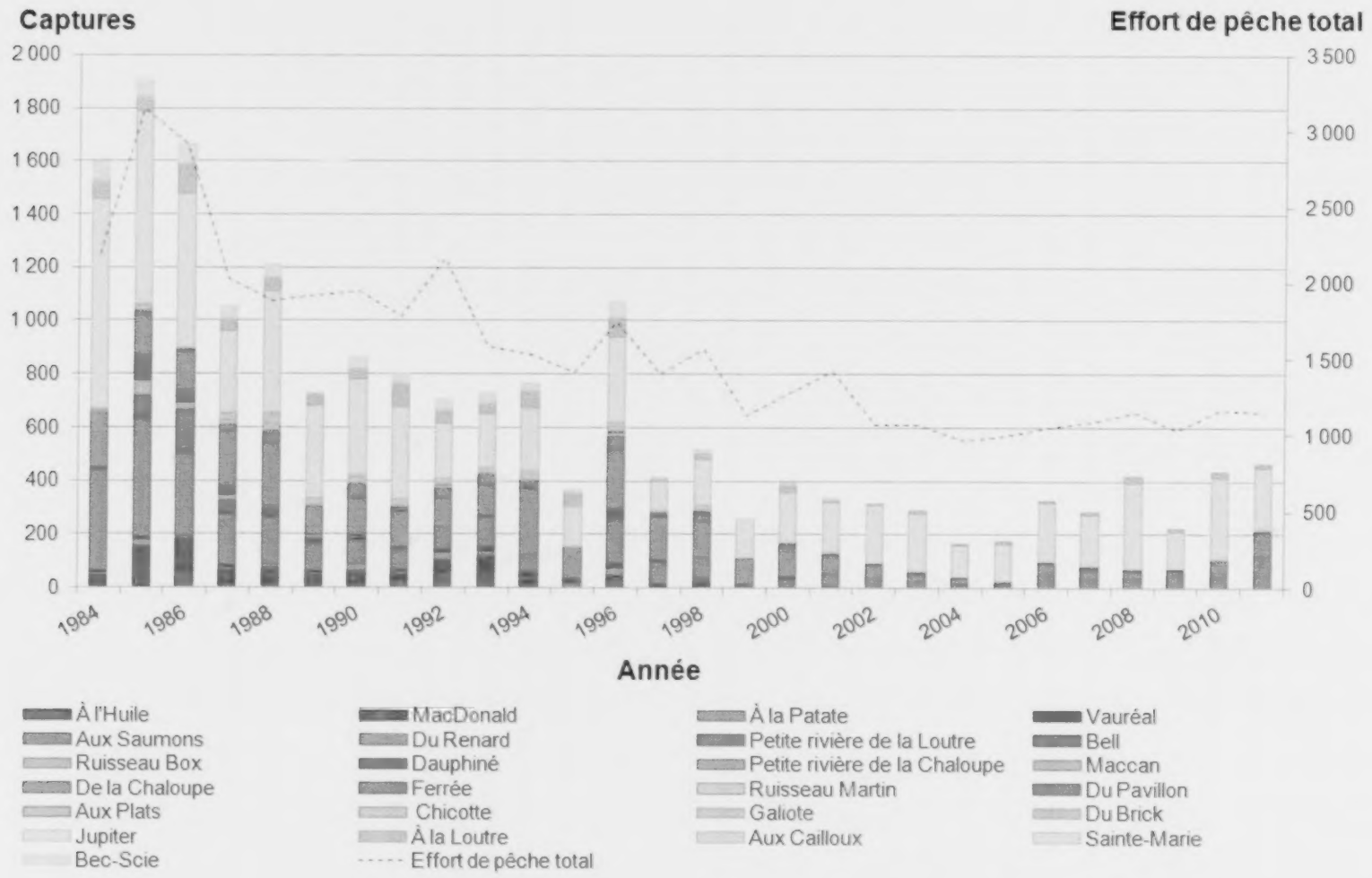


Figure 3. Captures (barres) d'adultes de saumon atlantique (Salmo salar L.) dans les rivières exploitées de l'île d'Anticosti (Québec) et effort de pêche total (courbe), exprimé en jours-pêche.

3.3 MODÈLE POUR L'ESTIMATION DE L'ABONDANCE ET DE LA RÉPARTITION SPATIALE DES ADULTES : MODÈLE M0

3.3.1 Notation

La distribution de probabilité de a conditionnellement à b est notée $a \mid b \sim$ distribution $(f_a(b))$, où f_a est une fonction déterministe de b. Les caractères écrits entre parenthèses donnent des informations spatio-temporelles sur la grandeur (i.e. l'année t, indicée de 1 à 28, et la rivière i, indicée de 1 à 25). La Table 1 indique la correspondance entre les noms et les indices utilisés pour les 25 rivières. Les indices localisés en bas à droite des variables indiquent à quoi cette dernière se rapporte, e.g. μ_R correspond à la moyenne de la grandeur R. La Table 2 présente l'ensemble des grandeurs utilisées et leur notation.

Table 1. Liste et indices des rivières à saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec)

Rivière	Indice (i)
Á l'Huile	1
Mac Donald	2
À la Patate	3
Vauréal	4
Aux Saumons	5
Du Renard	6
Petite rivière de la Loutre	7
Bell	8
Ruisseau Box	9
Dauphiné	10
Petite rivière de la Chaloupe	11
Maccan	12
De la Chaloupe	13
Ferrée	14
Ruisseau Martin	15
Du Pavillon	16
Aux Plats	17
Chicotte	18
Galiote	19
Du Brick	20
Jupiter	21
À la Loutre	22
Aux Cailloux	23
Sainte-Marie	24
Bec-Scie	25

Table 2. Notations pour les grandeurs du modèle d'estimation de l'abondance et de la répartition spatiale des adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

Notation	Définition	Équation
t	Année : indicée de 1 à 28 (i.e. années de 1984 à 2011)	
i	Rivière : de 1 à 25 (cf. Table 1 et Figure 1 pour plus d'information sur le nom et la localisation des rivières)	
Paramètres		
$\alpha(i)$	Paramètre de la distribution de Dirichlet pour $p(t,i)$	Eq. (3)
μ_γ	Moyenne des $\gamma(i)$	Eq. (7)
μ_R	Moyenne du logarithme des $R(t)$	Eq. (1)
φ	Effet du type d'individu ciblé par la pêche sportive sur la moyenne du logarithme de la capturabilité	Eq. (6)
σ_γ	Ecart-type des $\gamma(i)$	Eq. (7)
σ_q	Ecart-type du logarithme des $q(t,i)$	Eq. (6)
σ_R	Ecart-type du logarithme des $R(t)$	Eq. (1)
Variables latentes		
$\gamma(i)$	Moyenne du logarithme de la capturabilité d'un individu (toute taille confondue) dans la rivière i	Eqs. (6) et (7)
$p(t,i)$	Probabilité de migrer dans la rivière i durant l'année t, pour un adulte de retour sur l'île d'Anticosti	Eqs. (2) et (3)
$\pi(t,i)$	Probabilité de capture par la pêche sportive dans la rivière i durant l'année t	Eqs. (4) et (5)

$q(t,i)$	Capturabilité dans la rivière i durant l'année t	Eqs. (5) et (6)
$R(t)$	Retour total d'adultes sur l'île d'Anticosti durant l'année t	Eqs. (1) et (2)
Observables		
$C(t,i)$	Captures d'adultes par la pêche sportive dans la rivière i durant l'année t	Eq. (4)
$N(t,i)$	Dénombrements d'adultes, via des barrières de comptage ou en apnée, dans la rivière i durant l'année t	Eqs. (2) et (4)
Co-variables		
$E(t,i)$	Effort de pêche, en jours-pêche, dans la rivière i durant l'année t	Eq. (5)
$I(t,i)$	Indicatrice qui vaut 0 si la pêche sportive cible tous les individus l'année t dans la rivière i et qui vaut 1 si elle ne cible que les individus dont la taille est inférieure à 63 cm	Eq. (6)

3.3.2 Retour et répartition spatiale des adultes

Les adultes se reproduisant dans les rivières de l'île d'Anticosti sont considérés être issus d'une métapopulation isolée des autres populations canadiennes (cf. section 3.1). Les effectifs d'adultes étant issus d'un processus dynamique, ils sont supposés non indépendants entre les années. Le retour total d'adultes pour l'année t, $R(t)$, est donc supposé suivre une distribution Log-Normale de paramètres de moyenne, μ_R, et d'écart-type, σ_R, communs pour l'ensemble des années :

$$R(t)|\mu_R, \sigma_R \sim \text{Log - Normale}\ (\mu_R, \sigma_R) \quad (1)$$

Ces adultes se répartissent ensuite dans les 25 rivières à saumon de l'île avec une probabilité $p(t,i)$ qui dépend de la rivière i et de l'année t. Pour l'année t, les effectifs d'adultes remontant dans les différentes rivières de l'île, $\{N(t,i), i = 1 \text{ à } 25\}$, sont supposés suivre une distribution Multinomiale conditionnellement à $R(t)$ et aux probabilités de retour pour la même année, $\{p(t,i), i = 1 \text{ à } 25\}$:

$$(N(t,1), ..., N(t,25))|R(t), (p(t,1), ..., p(t,25)) \sim \text{Multinomiale}\ (R(t), (p(t,1), ..., p(t,25))) \quad (2)$$

Une structure hiérarchique sur les probabilités $p(t,i)$ est introduite pour refléter leur échangeabilité (telle que définie dans Gelman *et al.* 2004, pp. 121-123) entre les années pour une rivière donnée. Les probabilités de retour dans les différentes rivières pour l'année t sont supposées suivre une distribution de Dirichlet dont les paramètres $\{\alpha(i), i = 1 \text{ à } 25\}$ dépendent des rivières :

$$(p(t,1), ..., p(t,25))|(\alpha(1), ..., \alpha(25)) \sim \text{Dirichlet}\ (\alpha(1), ..., \alpha(25)) \quad (3)$$

3.3.3 Captures sportives

Le nombre d'adultes capturés par la pêche sportive dans la rivière i durant l'année t, $C(t,i)$, dépend de l'effectif présent dans la rivière et d'une probabilité de capture $\pi(t,i)$. $C(t,i)$ est donc supposé suivre une loi Binomiale conditionnellement à $N(t,i)$ et à $\pi(t,i)$:

$$C(t,i)\big|N(t,i),\pi\ (t,i) \sim \text{Binomiale}\big(N(t,i),\ \pi\ (t,i)\big) \quad (4)$$

La probabilité de capture dans la rivière i durant l'année t est supposée dépendre d'un paramètre de capturabilité des individus, $q(t,i)$, et de l'effort de pêche dans la rivière i durant l'année t, $E(t,i)$, selon la relation définie dans Quinn et Deriso (1999, chapitre 1) :

$$\pi\ (t,i) = 1 - \exp\big(-\ q(t,i)\ E(t,i)\ \big) \quad (5)$$

La capturabilité moyenne est supposée dépendre du type d'individu ciblé (tous les individus vs les individus dont la taille est inférieure à 63 cm, cf. section 3.2) et de la rivière. La capturabilité l'année t et dans la rivière i est supposée être distribuée selon une loi Log- Normale de moyenne $(\gamma(i) + I(t,i)\ \varphi)$ et d'écart-type σ_q :

$$q(t,i)|\gamma(i), I(t,i), \varphi\ ,\sigma_q \sim \text{Log - Normale}(\gamma(i) + (t, i\ \varphi\ ,\sigma_q, \text{ avec :} \quad (6)$$

- $\gamma(i)$ la moyenne du logarithme de la capturabilité d'un adulte dans la rivière i, quand tous les individus sont ciblés;
- $I(t,i)$ une indicatrice qui vaut 0 si la pêche cible tous les individus l'année t dans la rivière i et qui vaut 1 si elle ne cible que les individus dont la taille est inférieure à 63 cm;
- et φ un paramètre reflétant l'effet de la limitation de la pêche des rédibermarins sur le logarithme de la capturabilité.

Enfin, la moyenne du logarithme de la capturabilité pour la rivière i, $\gamma(i)$, est supposée suivre une distribution Normale de moyenne, μ_γ, et d'écart-type, σ_γ :

$$\gamma(i)|\mu_\gamma,\sigma_\gamma \sim \text{Normale}(\mu_\gamma,\sigma_\gamma) \quad (7)$$

3.3.4 DAG et priors pour les paramètres

Ce modèle probabiliste peut être représenté par un graphique acyclique orienté (DAG pour Directed Acyclic Graph), une représentation conventionnelle de la structure de dépendance conditionnelle pour les modèles Bayésiens (Figure 4).

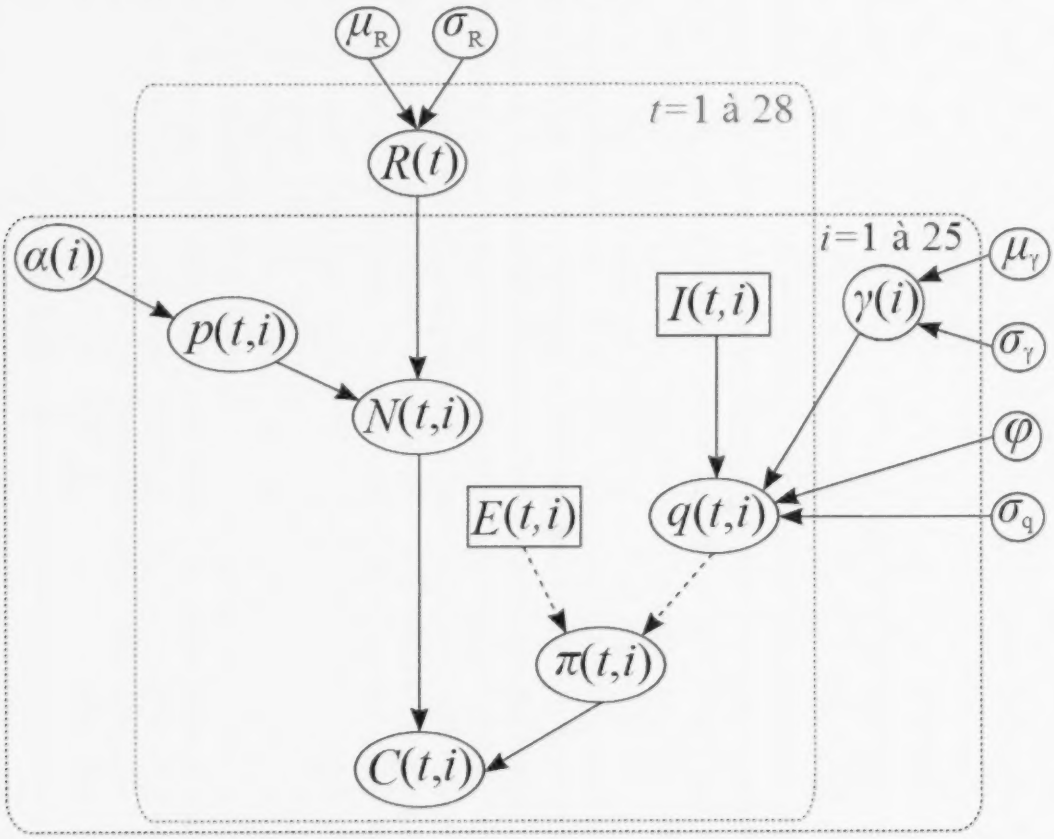


Figure 4. Graphique acyclique orienté pour le modèle d'estimation de l'abondance et de la répartition spatiale des adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Les cadres représentent les répétitions de structure dans le temps (année t, indicée de 1 à 28) et l'espace (rivière i, indicée de 1 à 25). Les nœuds représentent les grandeurs du modèle (des rectangles pour les co-variables connues et des ovales pour les variables aléatoires) et les flèches indiquent les relations conditionnelles entre les nœuds (des lignes en pointillés pour les relations déterministes et des lignes pleines pour les relations probabilistes). Le lecteur peut se référer au texte et à la Table 2 pour plus d'information sur la signification des grandeurs.

Les paramètres $\{\alpha(i), \mu_\gamma, \mu_R, \varphi, \sigma_\gamma, \sigma_q, \sigma_R\}$ ne sont conditionnés par aucune grandeur. Dans un cadre Bayésien (cf. Encart 1), des distributions de probabilité a priori, appelées priors, doivent être assignées à chacun de ces paramètres. Des priors peu informatifs (Gelman 2006) ont été choisis (Table 3) afin que les distributions a posteriori, appelées posteriors, reflètent essentiellement l'information apportée par les données.

Table 3. Distributions de probabilité a priori pour les paramètres du modèle d'estimation de l'abondance et de la répartition spatiale des adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

Paramètre	Prior
$\alpha(i)$	Gamma(1, 0.01)
μ_γ	Normale(0, 10)
μ_R	Normale(0, 10)
φ	Normale(0, 10)
σ_γ	Uniforme(0, 10)
σ_q	Uniforme(0, 10)
σ_R	Uniforme(0, 10)

Note : les distributions Gamma sont écrites avec leurs paramètres de moyenne, μ, et d'échelle inverse, β (Gamma(μ, β)) ; les distributions Normales sont écrites avec leurs paramètres de moyenne, μ, et d'écart-type, σ (Normale(μ, σ)).

Encart 1 : l'approche statistique Bayésienne

L'approche statistique Bayésienne (Gelman *et al.* 2004 ; King *et al.* 2010) considère les grandeurs inconnues d'un modèle, aussi appelées paramètres et notées Φ, en tant que variables aléatoires en leur assignant une distribution de probabilité (DP). Elle est fondée sur 3 composantes majeures :

- une DP a priori pour les paramètres, plus communément appelée prior ;
- la vraisemblance des données ;
- et une DP a posteriori pour les paramètres, plus communément appelée posterior.

Le *prior*, noté $\Pr(\Phi)$, reflète la connaissance que l'on a a priori, c'est-à-dire avant la récolte des données, sur les paramètres du modèle. La *vraisemblance*, notée $\Pr(Y|\Phi)$, correspond à la probabilité d'obtenir les données observées, notées Y, conditionnellement à la valeur des paramètres. En d'autres termes, elle reflète la plausibilité des données sous différentes valeurs des paramètres. La combinaison de ces deux composantes donne le *posterior*, noté $\Pr(\Phi|Y)$, qui reflète la probabilité des différentes valeurs des paramètres conditionnellement aux données observées. Il correspond à la mise à jour de la connaissance initiale, i.e. du prior, par l'expérience, i.e. la vraisemblance. Cette mise à jour est explicitée mathématiquement par le théorème de Bayes :

$$\Pr(\Phi|Y) = \frac{\Pr(Y|\Phi)\Pr(\Phi)}{Pr(Y)} \quad \text{(E1.1)}$$

avec $\Pr(Y)$ la vraisemblance intégrée sur toutes les valeurs possibles des paramètres :

$$\Pr(Y) = \Pr \int (Y|\Phi) \Pr(\Phi) \, d\Phi \quad \text{(E1.2)}$$

Pour Y fixé, $\Pr(Y)$ est une constante de normalisation, l'Eq. (E1.1) peut donc être écrite sous la forme :

$$\Pr(\Phi|Y) \propto Pr(Y|\Phi) \Pr(\Phi) \quad \text{(E1.3)}$$

Le posterior reflète l'incertitude des paramètres. Cette incertitude peut être résumée en terme "d'intervalle de crédibilité Bayésien" : un intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % indique que 90 % des valeurs possibles du paramètre se trouvent entre les bornes de l'intervalle. Le posterior résulte d'un compromis entre la vraisemblance et le prior. Il permet d'évaluer l'information apportée par les données.

3.4 MODÈLE POUR L'ÉVALUATION DE LA TENDANCE DE LA MÉTAPOPULATION : MODÈLE *M1*

Une régression logarithmique sur les effectifs totaux d'adultes a été ajoutée au modèle M0 pour évaluer la tendance de la métapopulation. Dans un premier temps, elle a été réalisée sur une période allant de 1993 à 2007 (indices 10 à 24), notée P_1, qui correspond à celle utilisée dans le rapport du COSEPAC (2011). Dans un second temps, la régression a été réalisée sur une période allant de 1997 à 2011 (indices 14 à 28), notée P_2, qui correspond aux 3 dernières générations (i.e. les 15 dernières années ; COSEPAC 2011). Pour les années concernées, $R(t)$ est donc supposé suivre une loi Log-Normale de moyenne $(a + bt)$ et d'écart-type σ_{reg} :

$R(t)|a, b, t, \sigma_{reg} \sim$ Log – Normale$(a + bt, \sigma_{reg})$, pour t = 10 à 24 ou 14 à 28 (8)

Ainsi, l'espérance mathématique (moyenne) du nombre total d'adultes l'année (t+1), $E(R(t+1))$, est égal au produit entre e^b et l'espérance mathématique du nombre total d'adultes l'année t, $E(R(t))$:

$$E(R(t)) = e^{a+bt+(\sigma^2_{reg}/2)} \text{ et } E(R(t+1)) = e^{a+b(t+1)+(\sigma^2_{reg}/2)} = e^b e^{a+bt+(\sigma^2_{reg}/2)} = e^b E(R(t)) \quad (9)$$

Pour les autres années, la structure hiérarchique présentée par l'Eq. (1) a été conservée. Ce modèle peut également être représenté par un DAG (Figure 5). Des priors doivent également être assignés aux paramètres $\{a, b, \sigma_{reg}\}$. Une loi Normale de moyenne nulle et d'écart-type égal à 10 a été assignée aux paramètres a et b. Une loi Uniforme entre 0 et 10 a été assignée à σ_{reg}.

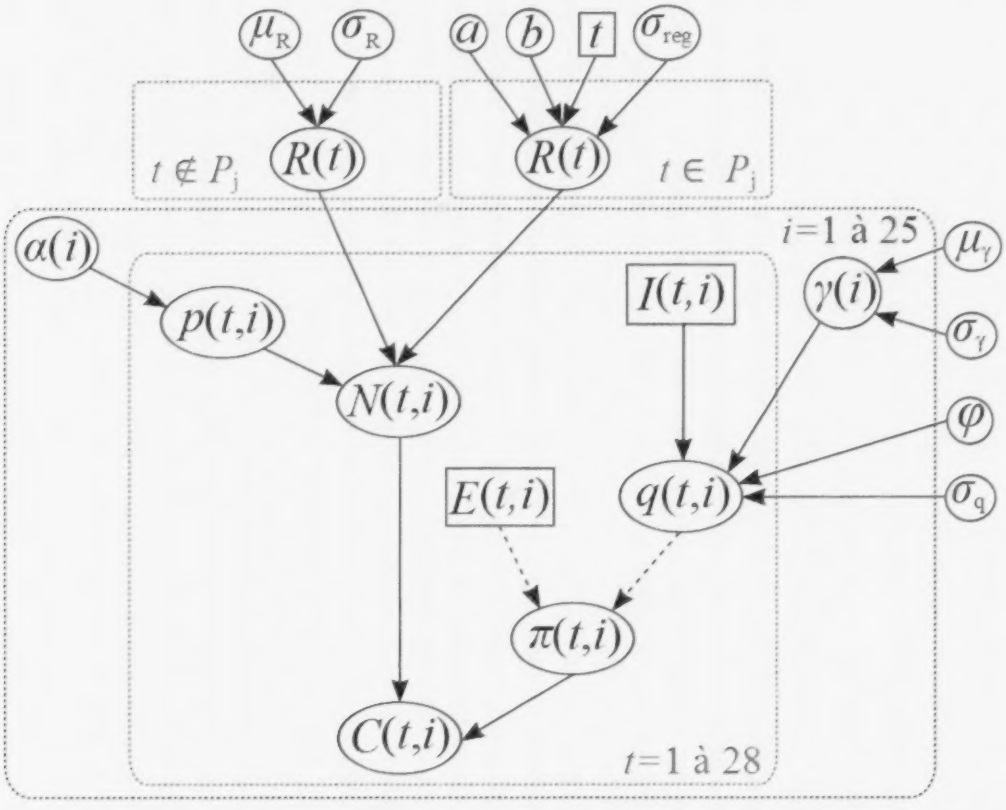


Figure 5. Graphique acyclique orienté pour le modèle d'évaluation de la tendance de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec) pour la période P_j. Les cadres représentent les répétitions de structure dans le temps (année t, de 1984 à 2011, indicée de 1 à 28) et l'espace (rivière i, indicée de 1 à 25). Les nœuds représentent les grandeurs du modèle (des rectangles pour les co-variables connues et des ovales pour les variables aléatoires) et les flèches indiquent les relations conditionnelles entre les nœuds (des lignes en pointillés pour les relations déterministes et des lignes pleines pour les relations probabilistes). Le lecteur peut se référer au texte et à la Table 2 pour plus d'information sur la signification des grandeurs.

3.5 INFÉRENCES BAYÉSIENNES

Les inférences Bayésiennes ont été réalisées sous OpenBUGS© (V3.2.1 rev781 ; Thomas *et al.* 2006 ; Lunn *et al.* 2009). Ce logiciel réalise un échantillonnage MCMC (Monte Carlo Markov

Chain sampling ; Gelman *et al.* 2004 ; cf. Encart 2) dans la distribution a posteriori jointe de toutes les grandeurs inconnues du modèle, i.e. la distribution de toutes les inconnues conditionnées par les données observées. La convergence de l'échantillonnage MCMC a été vérifiée (cf. Annexe 2) et les résultats présentés par la suite sont basés sur un échantillon de 16 200 valeurs.

Encart 2 : Les méthodes de Monte Carlo par chaînes de Markov

Les méthodes MCMC (pour Monte Carlo Markov Chain ; Gelman *et al.* 2004 chapitre 11 ; Clark 2007 chapitre 7 ; Link et Barker 2010 chapitre 4) sont des processus d'échantillonnage stochastique qui permettent d'estimer la distribution jointe a posteriori des grandeurs inconnues, et par conséquent les distributions marginales de chaque grandeur et les quantités remarquables relatives à ces distributions (e.g. moyenne, variance, médiane et intervalle de crédibilité Bayésien). Ces méthodes possèdent la propriété de Markov, i.e. que l'état futur ne dépend que de l'état présent, ainsi l'échantillon est généré de façon itérative via une probabilité de transition $\Pr(\Phi(t)|\Phi(t\text{-}1))$. Ce noyau de transition est choisi tel que l'échantillon converge vers la distribution a posteriori jointe. Il est donc nécessaire d'être suffisamment loin dans la chaîne pour que les valeurs générées soient dans la distribution stationnaire. L'échantillon généré dans cette distribution doit être suffisamment grand pour bien refléter la distribution.

4 RÉSULTATS

4.1 MODÈLE M0

4.1.1 Valeurs des paramètres

Les distributions marginales a posteriori des paramètres sont plus étroites que leur distribution a priori (l'écart-type a priori est bien supérieur à l'écart-type a posteriori, Table 4), ce qui montre une bonne mise à jour de ces dernières. L'information apportée par les données permet donc une bonne estimation de ces paramètres.

Les paramètres sont en général bien estimés, exception faite de $\alpha(23)$ et $\alpha(24)$. Ces derniers sont également fortement corrélés avec $\gamma(23)$ et $\gamma(24)$ respectivement (Annexe 2.2). Ces incertitudes et ces corrélations sont dues à une absence de données de dénombrement dans ces deux rivières.

Table 4. Résumé des statistiques des distributions marginales a posteriori des paramètres du modèle d'estimation de l'abondance et de la répartition spatiale des adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

Paramètre	Moyenne	SD	5 %	50 %	95 %	SD a priori
$\alpha(1)$	1,29	0,23	0,93	1,27	1,68	10
$\alpha(2)$	2,32	0,35	1,77	2,30	2,93	10
$\alpha(3)$	2,07	0,32	1,56	2,05	2,61	10
$\alpha(4)$	1,33	0,23	0,96	1,32	1,73	10
$\alpha(5)$	10,29	1,33	8,20	10,25	12,55	10
$\alpha(6)$	0,76	0,26	0,43	0,72	1,25	10
$\alpha(7)$	2,74	1,00	1,27	2,65	4,51	10
$\alpha(8)$	2,17	0,48	1,44	2,14	3,01	10
$\alpha(9)$	1,84	0,41	1,21	1,82	2,54	10
$\alpha(10)$	2,57	0,46	1,85	2,54	3,37	10
$\alpha(11)$	1,23	0,33	0,74	1,20	1,81	10
$\alpha(12)$	1,48	0,52	0,74	1,43	2,42	10
$\alpha(13)$	10,77	1,15	8,97	10,71	12,75	10
$\alpha(14)$	3,00	0,42	2,33	2,98	3,72	10
$\alpha(15)$	0,69	0,17	0,44	0,67	1,00	10
$\alpha(16)$	1,18	0,36	0,65	1,13	1,84	10
$\alpha(17)$	0,90	0,23	0,56	0,87	1,31	10
$\alpha(18)$	0,71	0,17	0,46	0,69	1,01	10
$\alpha(19)$	1,36	0,28	0,93	1,35	1,86	10
$\alpha(20)$	0,47	0,11	0,30	0,45	0,67	10
$\alpha(21)$	22,49	2,21	18,97	22,42	26,27	10
$\alpha(22)$	4,24	0,54	3,39	4,22	5,16	10
$\alpha(23)$	1,41	1,30	0,50	1,04	3,47	10
$\alpha(24)$	1,83	1,58	0,68	1,42	4,15	10
$\alpha(25)$	2,57	0,39	1,96	2,56	3,25	10
μ_τ	-5,83	0,23	-6,21	-5,83	-5,44	10
μ_R	8,29	0,09	8,15	8,29	8,43	10
φ	-0,49	0,12	-0,68	-0,49	-0,30	10
σ_τ	1,01	0,20	0,73	0,98	1,37	2,89
σ_q	0,64	0,04	0,57	0,64	0,71	2,89
σ_R	0,40	0,06	0,32	0,40	0,51	2,89

Note : SD : écart-type (Standard Deviation) ; X % : $X^{ème}$ percentile.

4.1.2 Retour total et répartition spatiale

Sur l'ensemble de la période d'étude, l'effectif annuel d'adultes varie en moyenne entre 1979, pour l'année 2005, et 8046, pour l'année 1986 (Figure 6). La moyenne de la distribution a posteriori de l'effectif annuel moyen, de 1984 à 2011, est de 4 300. A partir du milieu des années 80, le nombre d'adultes diminue jusqu'en 2005 puis augmente les 5 dernières années.

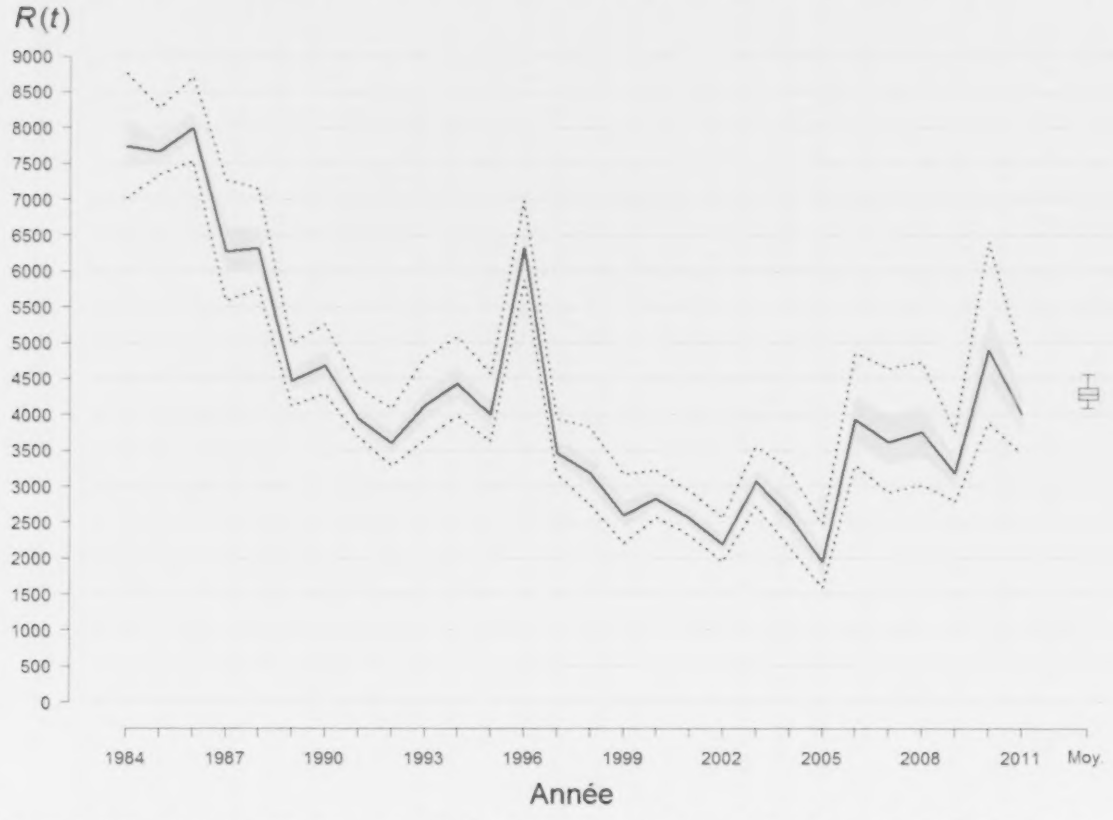


Figure 6. Résumé des distributions a posteriori du nombre total annuel d'adultes, de 1984 à 2011, et de sa moyenne (Moy.) sur l'ensemble de la période. La ligne continue en gras représente la médiane, la zone en gris représente les percentiles 25 et 75 et les lignes en pointillés gras représentent les percentiles 5 et 95 des distributions a posteriori du nombre total annuel d'adultes. Le box-plot indique les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 de la distribution a posteriori de la moyenne du nombre total annuel d'adultes.

Les valeurs des paramètres de la distribution de Dirichlet ($\alpha(i)$) reflètent l'importance de chaque rivière en termes d'effectif d'adultes et permettent de calculer l'espérance de la probabilité de retour des adultes dans chacune des rivières (pour i donné, $E\big(p(t,i)\big) = (\alpha\,(i)/\sum_{k=1}^{25}\ \alpha(k))$, Figure 7). Les rivières accueillant le plus d'adultes sont les rivières 5 (« Aux Saumons »), 13 (« De la Chaloupe ») et 21 (« Jupiter »), avec respectivement 12,59 %, 13,18 % et 27,53 % des adultes. Les autres rivières ont des niveaux plus proches entre elles en termes d'accueil d'adultes (entre 0,57 % et 5,20 % des adultes remontent dans chacune des 22 rivières restantes). La rivière 20 (« Du Brick ») est la rivière qui accueille le moins d'adultes.

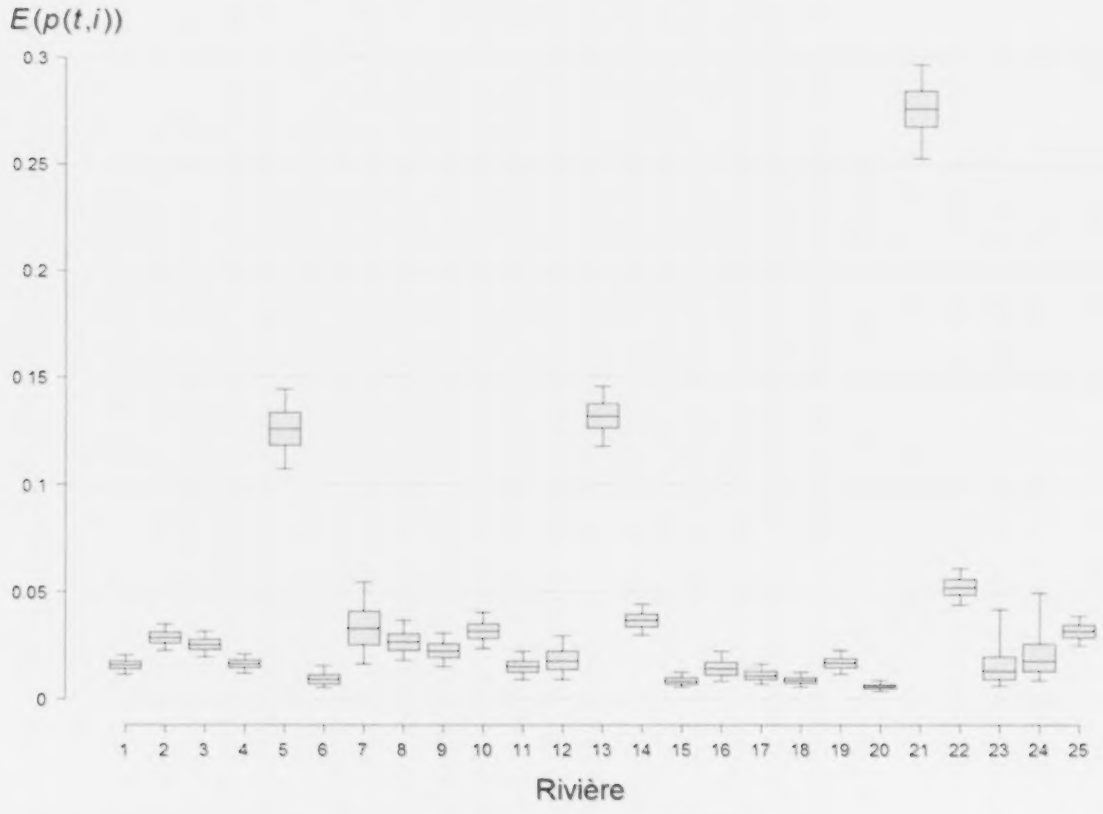


Figure 7. Résumé des distributions a posteriori de l'espérance mathématique, $E(p(t,i)) = (\alpha(i)/\sum_{k=1}^{25} \alpha(k))$, des probabilités de retour des adultes dans les différentes rivières de l'île d'Anticosti (Québec). Les box-plots représentent les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions a posteriori de $E(p(t,i))$. Le lecteur peut se référer à la Table 1 pour les correspondances entre les indices et les noms des rivières.

4.1.3 Captures sportives

La capturabilité moyenne des adultes est variable selon les rivières (Figure 8), avec une capturabilité moyenne minimum pour la rivière 21 (« Jupiter ») et maximum pour la rivière 18 (« Chicotte »).

Le paramètre φ est différent de 0 (la valeur 0 n'est pas comprise dans l'intervalle de crédibilité Bayésien à 90 %, Table 4), ce qui confirme l'effet du type d'individu ciblé sur la capturabilité moyenne. φ étant négatif (moyenne = -0,49), la capturabilité moyenne est plus faible lorsque la pêche cible seulement les individus mesurant moins de 63 cm.

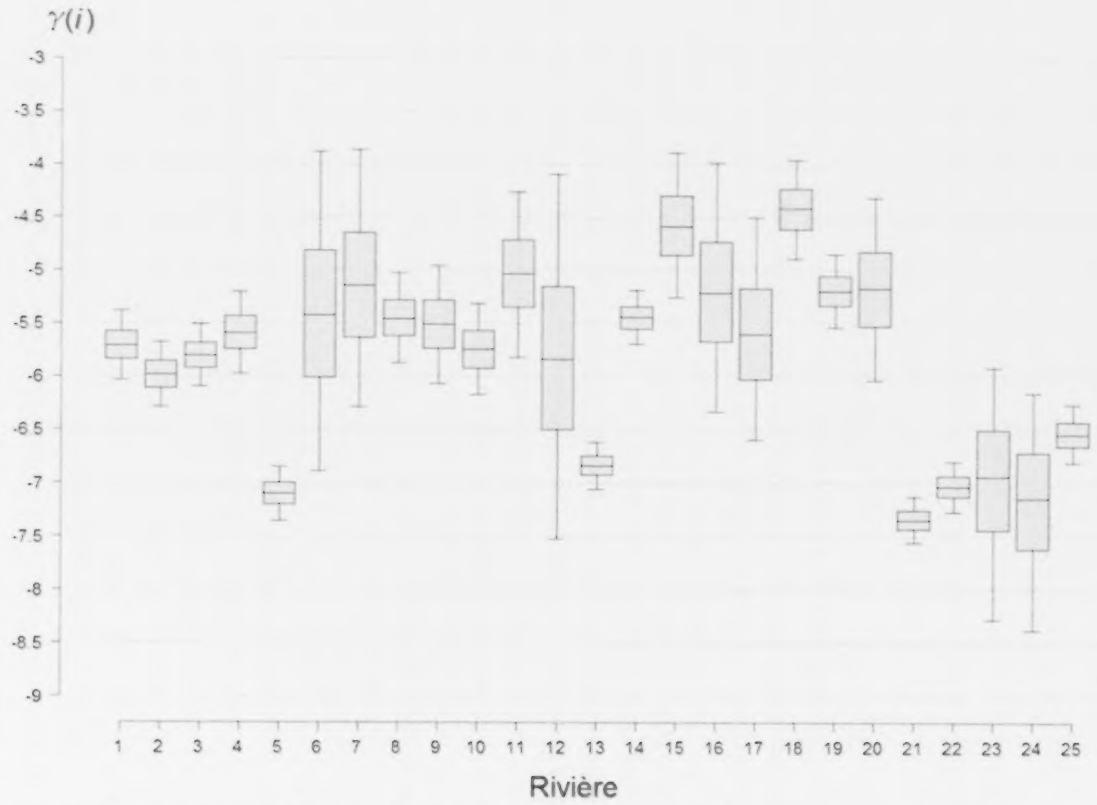


Figure 8. Résumé des distributions a posteriori de la moyenne du logarithme de la capturabilité pour chaque rivière i, γ(i), lorsque la pêche sportive cible tous les types d'individus. Les box-plots représentent les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions a posteriori des paramètres γ(i). Le lecteur peut se référer à la Table 1 pour les correspondances entre les indices et les noms des rivières.

Le taux d'exploitation globale, $\tau(t) = 100(\left(\sum_i C(t,i)\right)/R(t))$, a diminué sur l'ensemble de la période d'étude (Figure 9).

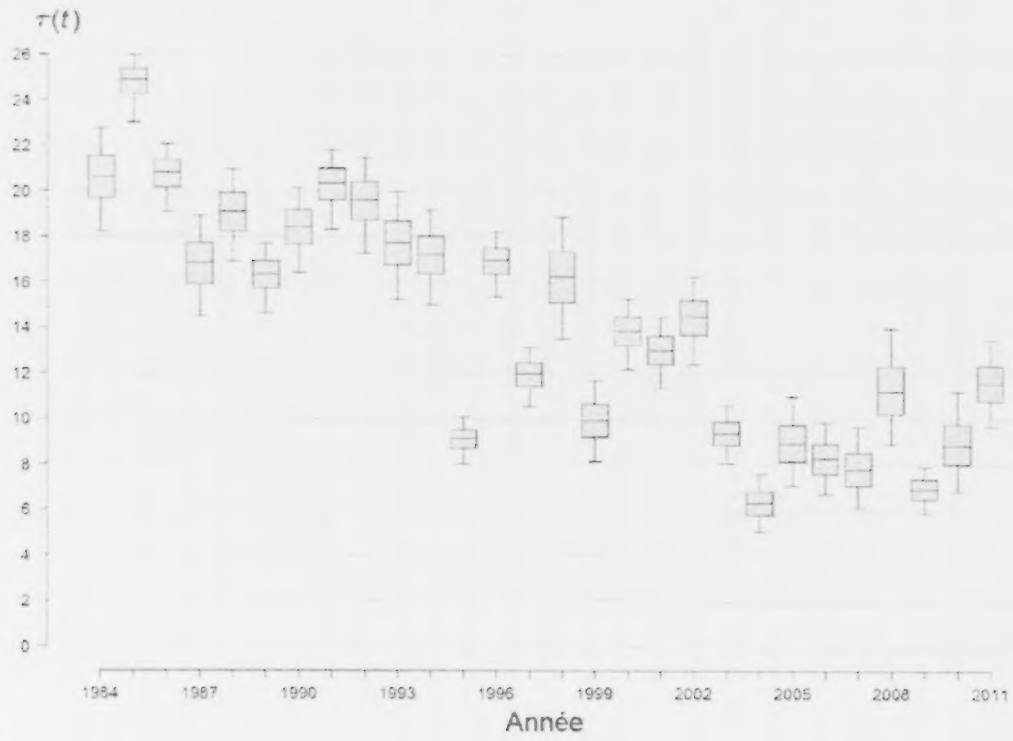


Figure 9. Résumé des distributions a posteriori du taux d'exploitation globale, $\tau(t) = 100(\left(\sum_i C(t,i)\right)/R(t))$, exprimé en pourcentage, de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti. Les box-plots représentent les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions a posteriori des grandeurs $N(t)$.

4.2 MODÈLE M1

4.2.1 Évolution de la métapopulation de 1993 à 2007

Le paramètre b vaut en moyenne -0,04 (Table 5 et Figure 10) et la valeur 0 n'est pas comprise dans son intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % (la probabilité que b soit négatif est de 0,98). Entre 1993 et 2007, le nombre total d'adultes avait donc tendance à diminuer en moyenne de 3,92 % (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % = [1;6,76]) d'année en année ($E(R(t+1)=e^{-0,04}\ E(R(t)=0,9608\ E(R(t))$).

Table 5. Résumé des statistiques des distributions marginales a posteriori des paramètres du modèle d'estimation de l'évolution, de 1993 à 2007, de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

Paramètre	Moyenne	SD	5 %	50 %	95 %	SD a priori
a	8,75	0,34	8,19	8,76	9,29	10
b	-0,04	0,02	-0,07	-0,04	-0,01	10
μ_R	8,55	0,12	8,36	8,54	8,75	10
σ_R	0,36	0,09	0,25	0,35	0,53	2,89
σ_{res}	0,29	0,07	0,20	0,28	0,43	2,89

Note : SD : écart-type (Standard Deviation) ; X % : X^{éme} percentile.

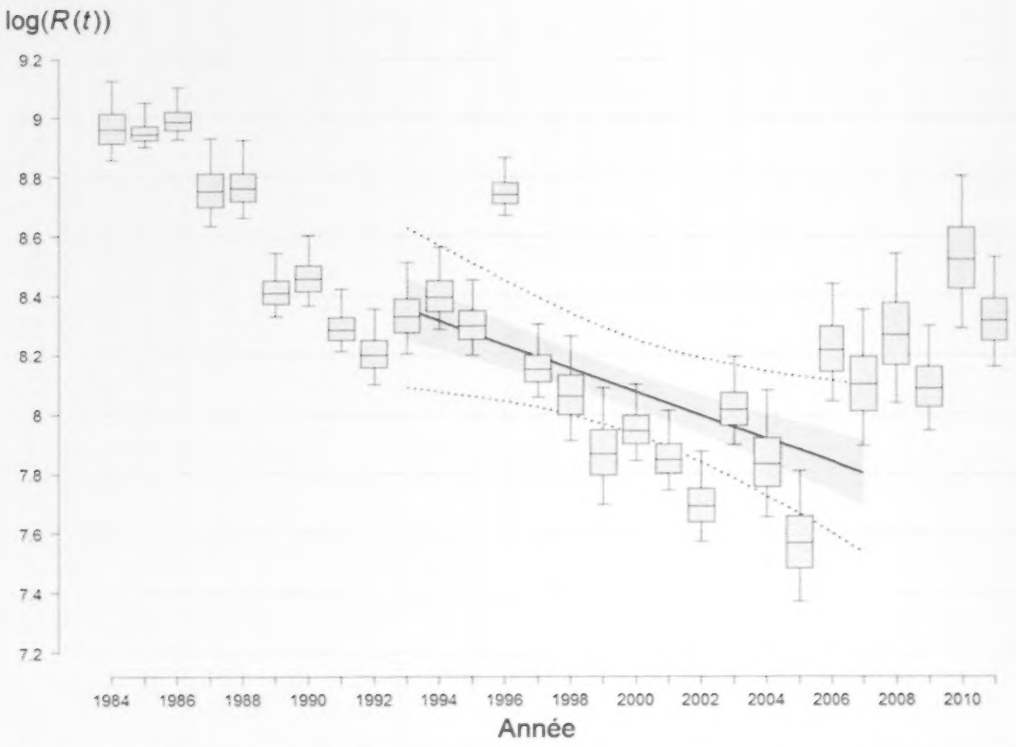


Figure 10. Résumé des distributions a posteriori du logarithme du nombre total annuel d'adultes, de 1984 à 2011. Les box-plots indiquent les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions a posteriori. La régression linéaire utilisée pour évaluer l'évolution de la métapopulation de 1993 à 2007 est superposée. La ligne continue en gras représente la médiane, la zone en bleu représente les percentiles 25 et 75 et les lignes en pointillés gras représentent les percentiles 5 et 95 des distributions a posteriori du logarithme du nombre total annuel d'adultes prédit par la régression.

4.2.2 Évolution de la métapopulation de 1997 à 2011

Le paramètre b vaut en moyenne 0,03 (Table 6 et Figure 11). La valeur 0 est comprise dans son intervalle de crédibilité Bayésien à 90 %, mais la borne inférieure de cet intervalle est très proche de 0 (la probabilité que b soit positif est de 0,95). Entre 1997 et 2011, la tendance semble donc positive, mais le modèle a du mal à la mettre clairement en évidence (non significativité de la relation au regard de l'intervalle de crédibilité Bayésien).

Table 6. Résumé des statistiques des distributions marginales a posteriori des paramètres du modèle d'estimation de l'évolution, de 1997 à 2011, de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

Paramètre	Moyenne	SD	5 %	50 %	95 %	SD a priori
a	7,49	0,34	6,95	7,50	8,05	10
b	0,03	0,02	$-4{,}19 \times 10^{-4}$	0,03	0,05	10
μ_R	8,59	0,10	8,43	8,59	8,76	10
σ_R	0,32	0,08	0,22	0,31	0,47	2,89
σ_{reg}	0,24	0,06	0,15	0,23	0,35	2,89

Note : SD : écart-type (Standard Deviation) ; X % : X^{ème} percentile.

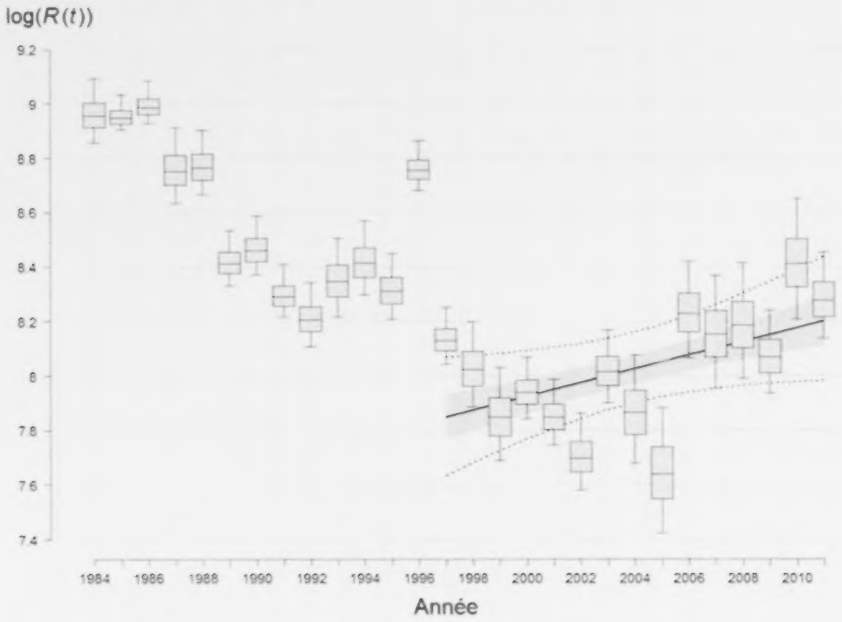


Figure 11. Résumé des distributions a posteriori du logarithme du nombre total annuel d'adultes, de 1984 à 2011. Les box-plots indiquent les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions a posteriori. La régression linéaire utilisée pour évaluer l'évolution de la métapopulation de 1997 à 2011 est superposée. La ligne continue en gras représente la médiane, la zone en bleu représente les percentiles 25 et 75 et les lignes en pointillés gras représentent les percentiles 5 et 95 des distributions a posteriori du logarithme du nombre total annuel d'adultes prédit par la régression.

5 DISCUSSION ET CONCLUSION

Pour vérifier la plausibilité du modèle, nous avons choisi de favoriser une approche faisant intervenir des vérifications a posteriori (telle que discutée dans Brun *et al.* 2011). Les vérifications a posteriori effectuées dans ce travail correspondent principalement à une étude des résidus. C'est de cette manière, par exemple, qu'un effet de la rivière sur la capturabilité a été détecté. L'ensemble des vérifications a posteriori effectuées n'ont pas pu mettre le modèle en défaut. Deux problèmes majeurs se posent lors de l'estimation des grandeurs relatives aux rivières 23 et 24 (Annexe 2) : (i) un problème de confusion entre les paramètres α et γ ; (ii) et un problème d'incertitude pour ces mêmes paramètres. Ces problèmes d'estimation semblent dus à une absence de données de dénombrement pour les rivières 23 et 24. Ces 2 rivières n'accueillant en moyenne que respectivement 1,71 % et 2,22 % ($E(p(t,i))$)des adultes, les difficultés d'estimation de ces paramètres n'ont probablement que peu d'impact sur les estimations d'abondance des adultes. Une amélioration du modèle pourrait être apportée en échantillonnant ces deux rivières durant quelques années. Une autre amélioration serait d'intégrer des co-variables apportant une indication sur la taille de la population de chaque rivière (e.g. l'unité de production des rivières), afin de fournir plus d'information sur la probabilité de retour ou sur la capturabilité dans l'ensemble des rivières.

Le modèle développé dans ce travail a permis d'estimer l'évolution, de 1984 à 2011, la situation actuelle et la trajectoire de la métapopulation de 1993 à 2007 et de 1997 à 2011, en termes d'abondance totale des adultes à l'échelle de l'île d'Anticosti. L'étude de la trajectoire de la métapopulation de 1993 à 2011 a confirmé la diminution du nombre d'adultes présentée par le COSEPAC (2011), avec une réduction totale moyenne de 42,87 % (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % = [13,13; 62,47]) sur la période ($E(R(2007))=(0,9608)^{14}$ $E(R(1993))=0,5713$ $E(R(1993))$). L'étude de la trajectoire de la métapopulation sur les trois dernières générations (i.e. de 1997 à 2011) ne met en évidence aucune tendance nette (valeur 0 comprise dans l'intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % de la pente de la régression). Cependant, la probabilité que la pente de la régression soit positive est très forte (0,95) et les estimations d'abondance concernant les dernières années montrent une augmentation des effectifs depuis 2006. La non significativité de la régression effectuée pour la période de 1997 à 2011 est probablement due à la présence de 2 trajectoires opposées : une diminution des effectifs de 1997 à 2005 et une augmentation de 2006 à 2011. Un nombre plus important de données durant ces années aurait également permis de réduire l'incertitude sur les estimations de retour d'adultes et de faire apparaitre plus nettement une tendance. Ainsi, la tendance de la métapopulation de saumon atlantique de l'île d'Anticosti semble s'être inversée et les effectifs semblent avoir augmenté depuis l'étude présentée par le COSEPAC, avec un effectif moyen de 4 046 adultes en 2011. Ce modèle a également permis d'évaluer la répartition des adultes dans les 25 rivières à saumon de l'île, et par conséquent l'importance de chaque rivière en termes d'accueil d'adultes, ainsi que la capturabilité par la pêche sportive. Cette dernière varie selon les rivières, avec 2 catégories qui se distinguent : (*i*) des rivières dans lesquelles la capturabilité moyenne est élevée (rivières 1 à 4, 6 à 12 et 14 à 20) ; (*ii*) et d'autres dans lesquelles elle est faible (rivières 5, 13, et 21 à 25). Il serait alors peut être plus réaliste d'introduire deux paramètres de moyenne ($\mu_\gamma(1)$ et $\mu_\gamma(2)$) et d'écart-type ($\sigma_\gamma(1)$ et $\sigma_\gamma(2)$) pour distinguer ces deux niveaux de capturabilité. Globalement, le taux d'exploitation a diminué tout au long de la période d'étude (Figure 9), ce qui pourrait expliquer en partie l'amélioration de l'état de la métapopulation.

Le modèle présenté dans ce travail considère les effectifs annuels d'adultes comme non indépendants. Cette hypothèse est justifiée par le fait que ces adultes sont issus d'un processus dynamique et dépendent donc des adultes s'étant reproduit sur l'île les années précédentes. Cependant, aucun processus dynamique n'a été introduit dans ce modèle. La construction d'un

modèle pour la dynamique de renouvellement de la métapopulation pourrait être un prolongement à cette étude et permettrait d'évaluer des paramètres d'intérêt comme le taux de retour des cohortes. Le modèle actuel est déjà lourd en temps de simulation et l'introduction d'un processus dynamique aurait pour conséquence, en plus des problèmes de calcul qu'il peut engendrer (estimations, convergence du modèle, etc.), de rallonger de manière importante le temps nécessaire pour obtenir des estimations correctes.

6 RÉFÉRENCES

Brooks, S.P., Gelman, A. 1998. General methods for monitoring convergence of iterative simulations. J. Comput. Graph. Stat. 7(4), 434-455.

Brun, M., Abraham, C., Jarry, M. et Prévost, E. 2011. Estimating an homogeneous series of a population abundance indicator despite changes in data collection procedure: A hierarchical Bayesian modelling approach. Ecol. Model. 222, 1069-1079.

Clark, J.S. 2007. Models for Ecological Data. An Introduction. Princeton University Press, Princeton, USA, 617 pp.

COSEPAC. 2011. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon atlantique (*Salmo salar*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. xlix + 162 p.

Dionne, M., Caron, F., Dodson, J.J. et Bernatchez, L. 2008. Landscape genetics and hierarchical genetic structure in Atlantic salmon: The interaction of gene flow and local Adaptation. Mol. Ecol. 17, 2382-2396.

Gelman, A. 2006. Prior distributions for variance parameters in hierarchical models. Bayesian Anal. 1(3), 515-534.

Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S. et Rubin, D.B. 2004. Bayesian data analysis. Second edition. Texts in Statistical Science, Chapman & Hall/CRC, New York, USA, 668 pp.

King, R., Morgan, Byron J.T., Gimenez, O., Brooks, et Stephen P. 2010. Bayesian analysis for population ecology. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, USA, 442 pp.

Link, W.A., Barker, R.J. 2010. Bayesian inference with ecological applications. Academic Press, 339 pp.

Lunn, D., Spiegelhalter, D., Thomas, A. et Best, N. 2009. The BUGS project: evolution, critique and futur directions. Stat. Med. 28, 3049-3067.

MNRF. 2011. Bilan de l'exploitation du saumon au Québec en 2010. Ministère des ressources naturelles et de la faune. 282 p.

Quinn, T.J. et Deriso, R.B. 1999. Quantitative Fish Dynamics. Oxford University Press, New York, USA, 560 pp.

Thomas, A., O'Hara, B., Ligges, U. et Sturtz, S. 2006. Making BUGS Open. R News 6(1), 12-17.

Webb, J., Verspoor, E., Aubin-horth, N., Romakkaniemi, A. et Amiro, P. 2007. The Atlantic salmon. In: Verspoor, E., Stradmeyer, L., Nielsen, J. (Eds.), The Atlantic salmon, genetics, conservation and management. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, pp. 17- 56.

ANNEXE 1. DONNÉES DE DÉNOMBREMENT ET ACTIVITÉ DE PÊCHE SPORTIVE POUR LA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR L.*) DE L'ÎLE D'ANTICOSTI (QUÉBEC).

Table A-1.1. Données de dénombrement (via des barrières de comptage ou en apnée, prélèvements inclus) d'adultes de saumon atlantique (Salmo salar L.) pour les 25 rivières à saumon de l'île d'Anticosti (Québec), de 1984 à 2011.

Année	Rivière																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1984	5	355	100			1	122			349	75		1 469			125	43	58	43		2 264				172
1985	15	676	65	56	1 465			456	212	400	65	29	681	157	64	35	4		57	61	5	1 994	341		263
1986	212	907	182	121		52	305	714	79	318	166	122	1 134	283	83	25	29	47	4		1 576	267			137
1987	117	415	105	125				226	75*	96*	45*	71*	869	187*	71			50		1	1 099	238			205
1988		172*						56	19	129	91	104	1 086	450	74	26	51	143	212	12	1 471				167
1989	23	232	115	4	749			18*		79	12		353	6	45		*24*	58	*83*		1 438	169*			200
1990	51	210	139	93					137	104	48		434	361	57	132	75	39	92		1 098	203			198
1991	137	138	25	3	331			56	73	11			286	93	2				*154*		1 316	507			224
1992	211	167	222	133				44	42	41	17		272	154	27		*24*	2	*56*		805	307			166
1993	225	246	191	157									373	201					*69*		813	154			140
1994	126	55	61	78	244*				69	150			882	102				24			1 110	187			83
1995	13	9	37	21						160			776	90				16			1 476	197			107
1996	132	156	144	55	921			45	147	194			1 095	174					*43*		1 629	282			
1997		47	54	65	410								876	76							968	49			56
1998	62	26	125	43										138							889	147			91
1999	12	7																			916	196			49

2000	17	39	99	67	282	475	138	816	162	44
2001	12	18	41	35	307	319	129	956	50	34
2002	18	36	35		195	250	109	734	154	23
2003	38	79	37		244	316	110	1 090	190	
2004						279		724	128	
2005						209		576		
2006				28		492		1 215		
2007				82				1 007		
2008				74				1 044		
2009				24	654	345	149	715	131	
2010								1 437		
2011	25	37	189	110		703	162	819	168	

Notes : se référer à la Table 1 pour les correspondances entre les indices et les noms des rivières ; la rivière Du Brick (n°20) n'a plus le statut de rivière à saumon en vertu du Règlement de pêche du Québec ; * : données partielles.

Table A-1.2. Données de capture par la pêche sportive d'adultes de saumon atlantique (Salmo salar L.) pour les 25 rivières à saumon de l'île d'Anticosti (Québec), de 1984 à 2011.

Année	Rivière																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1984	2	45	13	2	375					10			214					10	0	0	783	60	9	5	68
1985	6	148	25	4	445			90	57	94			146	21				16	9	1	722	42	12	3	63
1986	60	119	9	0	314			163	26	46	2		144	12					3	0	580	102	8	4	71
1987	19	50	9	2	200			43	23	30			209	26				11	33	1	306	40	2	3	47
1988	21	52	14	0	182					24	11		237	43	2			24	40	4	453	44	5	4	46
1989	1	46	11	4	*107*			18	6		0		112	0				5	*25*	0	347	43	*0*	*0*	4
1990	17	42	28	0	*94*			12					143	46	8			2	*21*	8	360	36	*1*	*1*	44
1991	33	20	9	3	*78*			6					133	21					29	0	345	85	*1*	*3*	36
1992	62	38	31	13	*80*			0	0	0			110	37	11			2	22	0	210	46	*0*	*10*	32
1993	66	53	20	10	*117*			0					120	38	2			0	22	X	197	40	*0*	6	35
1994	18	12	12	13	*69*								245	32					*38*	X	231	63	*1*	*4*	23
1995	0	0	0	0	*18*			0		5			123	0	0			0	*0*	X	149	52	*0*	*0*	10
1996	42	6	27	11	*178*	*1*	*8*	0					224	51	7		*7*	4	*33*	X	318	73	*0*	*2*	58
1997	0		3	8	*85*					6			166	11	0		*2*	0	*5*	X	109	15	*0*	*0*	4
1998	15	11	11	0	*75*			0					135	31	0	*11*	*0*	0	*20*	X	169	25	*0*	*1*	11
1999	0	1	1	0	*10*								98	4	0		*1*	0	*0*	X	138	2	*0*	*0*	2
2000	1	1	11	0	*28*			0		1			107	21	0	*0*		0		X	188	29	*0*	*0*	4
2001	0	0	3	1	*48*								70	13	0	*0*	*0*		*1*	X	184	9	*0*	*0*	4

2002		*35*		50	8		X	214	9				
2003		*19*		32	12		X	215	9				
2004		*15*		18	6		X	119	4				
2005		*8*		19	0		X	137	10				
2006		*45*		52	2		X	220	5				
2007		*33*		34	16		X	190	8				
2008		*33*		29	11		X	318	29				
2009		*44*		25	2		X	142	7				
2010		*43*		65			X	302	24				
2011		*118*		89	11		X	231	14				

Notes : se référer à la Table 1 pour les correspondances entre les indices et les noms des rivières ; hachures : pêche ouverte, mais effort de pêche égal à 0 ; gris clair : restriction de la pêche aux individus de moins de 63 cm (les autres individus doivent être remis à l'eau) ; gris foncé : pêche fermée ; X : n'a plus le statut de rivière à saumon en vertu du Règlement de pêche du Québec (MNRF, 2011).

Table A-1.3. Données d'effort de pêche sportive d'adultes de saumon atlantique (Salmo salor L.) pour les 25 rivières à saumon de l'île d'Anticosti (Québec), de 1984 à 2011.

Année	Rivière																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1984	12	112	89	18	460					11			218					8	14	21	637	172	89	64	
1985	5	175	79	62	449			167	160	160			382	13				17	55	34	821	216	84	61	
1986	147	184	28	1	451			158	44	70	4		299	14					55	65	814	266	64	77	
1987	92	102	24	12	288			67	32	33			410	20				9	57	26	533	121	4	8	
1988	48	112	44	8	262					13	6		264	24	1			21	47	25	603	151	23	53	
1989	52	131	48	9	*344*			22	4		4		339	6				3	*40*	14	502	254	*7*	*37*	
1990	64	106	66	9	*211*			18					266	41	8			13	*68*	22	510	263	*25*	*47*	
1991	71	38	30	10	*203*			3					298	44					*70*	11	437	323	*25*	*36*	
1992	178	133	91	41	*188*			2	12	8			186	41	16			7	*69*	18	499	380	*39*	*78*	
1993	157	81	58	24	*148*			9					138	36	15			5	*69*	X	396	247	*28*	*50*	
1994	114	50	59	27	*117*								278	47					*51*	X	275	262	*32*	*60*	
1995	16	4	5	7	*137*			39		21			267	10	12			2	*29*	X	382	294	*7*	*60*	
1996	109	18	60	15	*200*	*1*	*4*	17					266	47	6		*13*	19	*59*	X	358	319	*30*	*54*	
1997	4		20	26	*198*					12			372	52	8		*12*	5	*32*	X	331	217	*9*	*28*	
1998	36	6	29	52	*305*			2					302	52	19	*14*	*16*	23	*47*	X	428	195	*3*	*11*	
1999	6	4	13	1	*97*								318	38	9		*8*	7	*3*	X	488	70	*5*	*12*	
2000	47	4	39	8	*230*			8		1			260	47	13	2		7		X	407	119	*15*	*11*	
2001	16	7	22	8	*271*								235	43	23	*2*	*1*		2	X	479	222	*17*	*7*	

2002		*276*		129	22		X	514	127
2003		*130*		154	26		X	607	155
2004		*62*		162	40		X	546	161
2005		*122*		189	56		X	505	128
2006		*307*		145	2		X	462	139
2007		*290*		149	21		X	496	133
2008		*242*		142	28		X	551	192
2009		*197*		143	47		X	552	98
2010		*205*		125	0		X	542	297
2011		*185*		144	19		X	587	214

Notes : se référer à la Table 1 pour les correspondances entre les indices et les noms des rivières ; hachures : pêche ouverte m ais effort de pêche égal à 0 ; gris clair : restriction de la pêche aux individus de moins de 63 cm (les autres individus doivent être remis à l'eau) ; gris foncé : pêche fermée ; X : n'a plus le statut de rivière à saumon en vertu du Règlement de pêche du Québec (MNRF, 2011).

ANNEXE 2. ECHANTILLONNAGE MCMC (MONTE CARLO MARKOV CHAIN) DU MODÈLE D'ESTIMATION DE L'ABONDANCE ET DE LA RÉPARTITION SPATIALE DES ADULTES DE LA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR L.*) DE L'ÎLE D'ANTICOSTI (QUÉBEC).

Cette annexe présente quelques éléments de diagnostic sur la convergence et les problèmes d'estimation du modèle. Les problèmes soulevés sont également discutés dans la section discussion du rapport.

Annexe 2.1. Diagnostic de Gelman-Rubin (Brooks et Gelman, 1998)

La convergence de l'échantillon MCMC a été vérifiée avec le diagnostic de Gelman-Rubin (Brooks et Gelman 1998) tel que implémenté par OpenBUGS©. Pour évaluer cette convergence, plusieurs chaînes sont utilisées et trois grandeurs sont calculées sur la deuxième moitié de l'échantillon utilisé :

- la largeur de l'intervalle de crédibilité Bayésien calculé avec les valeurs de l'ensemble des chaînes (B) ;
- la largeur moyenne de l'intervalle de crédibilité Bayésien calculé pour chaque chaîne (W) ;
- et le ratio entre les 2 grandeurs (R=B/W).

La grandeur R est nettement supérieure à 1 si les valeurs initiales des différentes chaînes sont bien surdispersées et doit tendre vers 1 lorsque la convergence approche. On suppose que la convergence est atteinte lorsque $R \in]0,95; 1,05[$.

Dans cette étude, 3 chaînes de 1 500 000 itérations ont été utilisées mais seulement 30 000 itérations par chaîne ont été gardées pour le diagnostic (1 valeur sur 50). Les grandeurs B, W et R ont été calculées sur des échantillons de plus en plus grands (i.e. pour chaque grandeur, la première valeur est calculée sur la deuxième moitié de l'échantillon 1-100, la deuxième valeur est calculée sur la deuxième moitié de l'échantillon 1-200, ..., et la dernière valeur est calculée sur la deuxième moitié de l'échantillon 1-30 000). La Figure A-2.1 montre l'évolution de B, W et R pour les 2 paramètres ayant des problèmes de convergence : à la fin de la simulation, les chaînes de $\alpha(23)$ et $\alpha(24)$ n'ont toujours pas convergé vers la distribution marginale a posteriori de ces paramètres. La Figure A-2.2 correspond à 4 paramètres pour lesquels les chaînes ont convergé rapidement. Le diagnostic pour les autres paramètres est similaire à ceux de la Figure A-2.2 (un bon mélange des trois chaînes a été obtenu après 100 000 itérations maximum), mais les figures ne sont pas intégrées au rapport pour ne pas le surcharger.

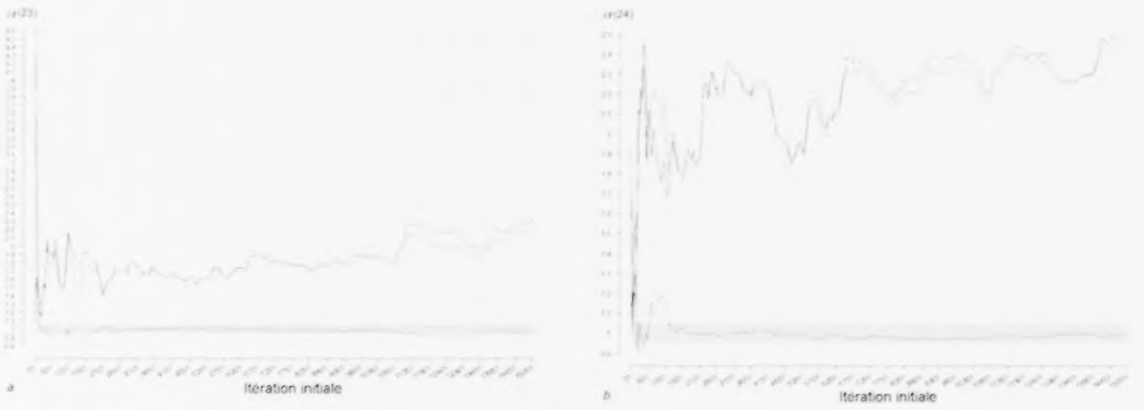


Figure A-2.1. Évolution des grandeurs R (rouge), B (vert) et W (bleu) du diagnostic de Gelman-Rubin pour les paramètres a. $a(23)$ et b. $a(24)$. La convergence de l'échantillon MCMC est atteinte lorsque $R \in]0{,}95;\ 1{,}05[$ (zone en gris), i.e. lorsque B ≈ W. Pour ces paramètres, la convergence est très difficile à atteindre.

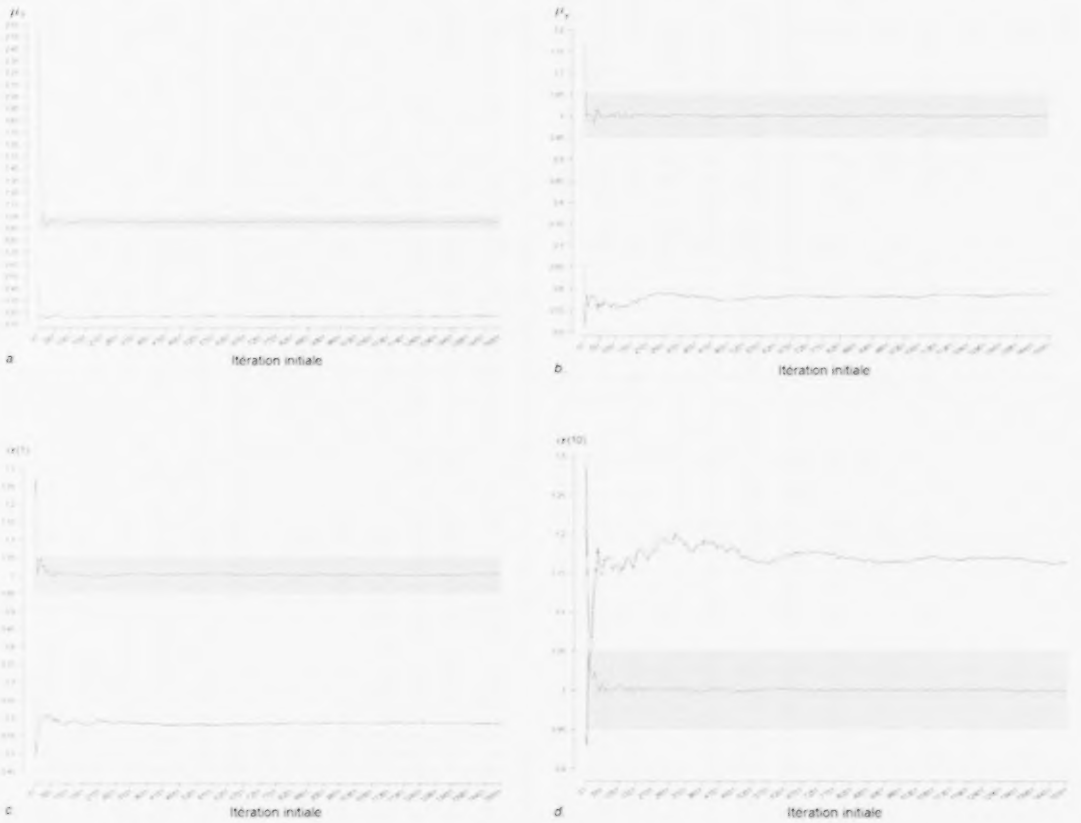


Figure A-2.2. Évolution des grandeurs R (rouge), B (vert) et W (bleu) du diagnostic de Gelman-Rubin pour les paramètres a. μ_R, b. μ_η, *c. $a(1)$ et d. $a(10)$. La convergence est atteinte lorsque $R \in]0{,}95\ ;\ 1{,}05[$ (zone en gris).*

Annexe 2.2. Comportement des chaînes et corrélation pour les paramètres α(23), α(24), γ(23) ET γ(24).

L'absence de données de dénombrement pour les rivières 23 et 24 entraîne deux problèmes : (*i*) une forte incertitude sur la valeur des paramètres α et γ ; (*ii*) et une forte corrélation entre ces deux grandeurs.

Le modèle n'exclut pas la possibilité que les paramètres α(23) et α(24) aient une valeur élevée, ainsi lors de l'échantillonnage MCMC de fortes valeurs sont parfois échantillonnées (Figure A-2.3), ce qui entrainerait le problème de convergence noté dans la section précédente. Ces fortes valeurs pour α(23) et α(24) sont associées à de faibles valeurs pour γ(23) et γ(24) respectivement (Figure A-2.3). Les paramètres α(23) et γ(23) d'une part et les paramètres α(24) et γ(24) d'autre part sont fortement corrélés entre eux (Figure A-2.4 et Table A-2.1).

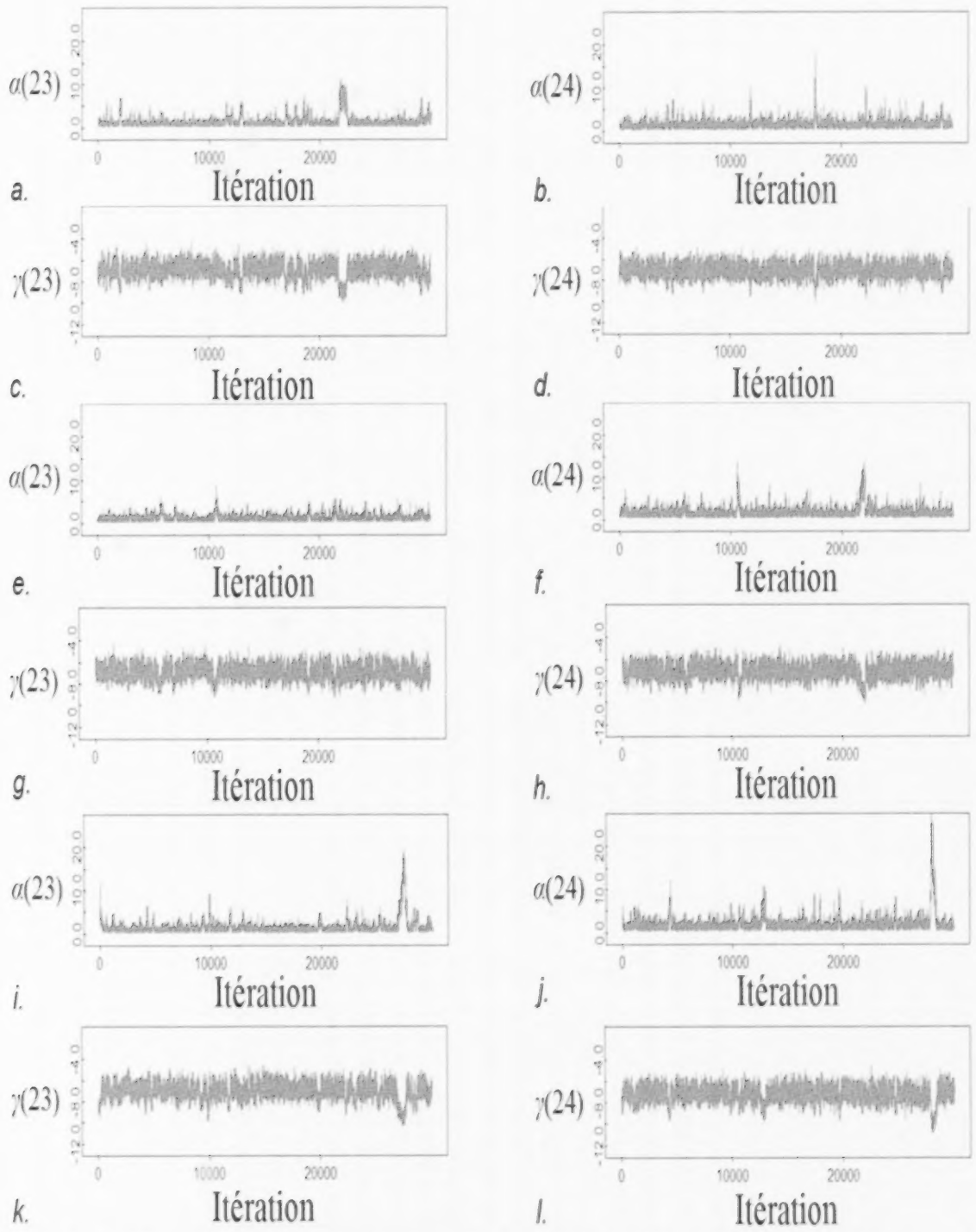


Figure A-2.3. Évolution de l'échantillon MCMC pour 30 000 valeurs (1 500 000 itérations, mais en ne retenant que 1 valeur sur 50) pour les paramètres $\alpha(23)$, $\alpha(24)$, $\gamma(23)$ et $\gamma(24)$. a.-d. : chaîne 1 ; e.-h. : chaîne 2 ; i.-l. : chaîne 3.

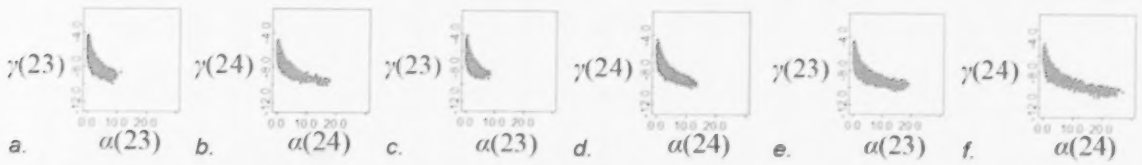


Figure A-2.4. Nuage de points donnant la valeur des paramètres $\gamma(23)$ et $\gamma(24)$ en fonction de la valeur des paramètres $\alpha(23)$ et $\alpha(24)$ respectivement. a. et b. : chaîne 1 ; c. et d. : chaîne 2 ; e. et f. : chaîne 3.

Table A-2.1. Coefficient de corrélation entre les paramètres $\alpha(23)$ et $\gamma(23)$ et entre les paramètres $\alpha(24)$ et $\gamma(24)$ pour les 3 chaînes MCMC. Un échantillon de 30 000 valeurs est utilisé pour chaque chaîne (1 500 000 itérations, mais en ne retenant que 1 valeur sur 50)

Paramètres	Coefficient de corrélation
Chaine 1	
$\alpha(23)$ et $\gamma(23)$	-0,78
$\alpha(24)$ et $\gamma(24)$	-0,76
Chaine 2	
$\alpha(23)$ et $\gamma(23)$	-0,76
$\alpha(24)$ et $\gamma(24)$	-0,79
Chaine 3	
$\alpha(23)$ et $\gamma(23)$	-0,73
$\alpha(24)$ et $\gamma(24)$	-0,75

Annexe 2.3. Auto corrélation des chaînes

Pour certains paramètres, les échantillons MCMC sont très auto corrélés (Figure A-2.5), rendant difficile l'exploration de l'ensemble des valeurs possibles de ces paramètres et donc la convergence des chaînes.

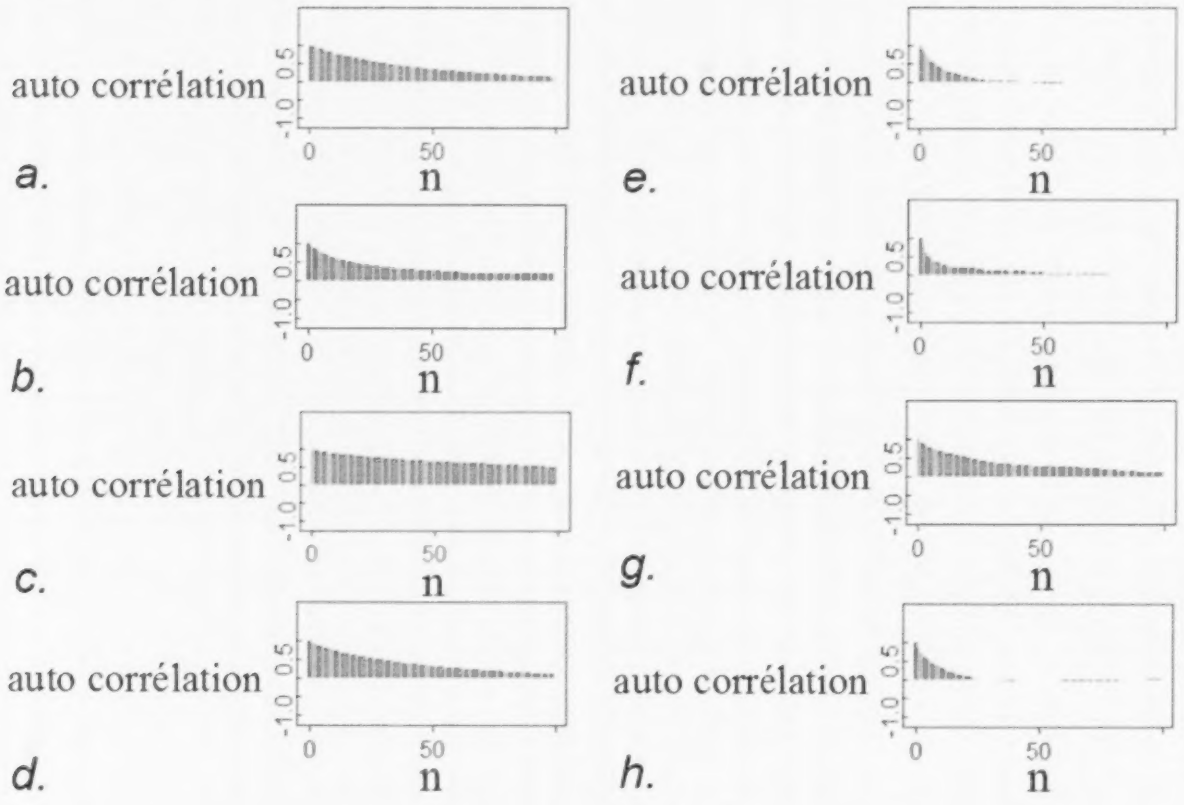


Figure A-2.5. Auto corrélation entre les valeurs des paramètres R(1984) (a. et e.), R(1985) (b. et f.), α(23) (c. et g.) et α(24) (d. et h.), pour une des trois chaînes MCMC utilisées dans ce rapport. Les valeurs du coefficient d'auto corrélation indiquées correspondent à la corrélation entre la valeur initiale (n=0, itération 1) et la valeur à l'itération n(taille du pas). a.-d. : taille du pas = 50 ; e.-h. : taille du pas = 250.*

En conclusion, un bon mélange des trois chaînes MCMC a été obtenu pour la plupart des paramètres après 100 000 itérations. Les chaînes étant très auto corrélées, 1 400 000 itérations supplémentaires ont été réalisées pour réduire la corrélation entre les valeurs de l'échantillon final utilisé (en ne prenant pas toutes les valeurs générées). Les résultats présentés dans ce rapport sont basés sur un échantillon de 16 200 valeurs prises dans l'ensemble des 3 chaînes (1 350 000 itérations par chaîne, mais en ne retenant que 1 valeur sur 250, après une période initiale de « burn-in » de 150 000 itérations permettant de s'affranchir des valeurs initiales).

RAPPORT 2 - ÉVALUATION DU POTENTIEL DE RÉTABLISSEMENT DE LA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR L.*) DE L'ÎLE D'ANTICOSTI (QUÉBEC) - NOVEMBRE 2012 –

1 RÉSUMÉ DE L'ÉVALUATION

En novembre 2010, la métapopulation de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) de l'île d'Anticosti (Québec) a été désignée « en voie de disparition » par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC 2011). Cette désignation a conduit à la mise en place d'une étude portant sur l'évaluation du potentiel de rétablissement de cette métapopulation. Un premier travail a permis d'évaluer l'évolution de 1984 à 2011, la situation actuelle et la trajectoire récente de cette métapopulation en termes d'abondance totale des adultes, ainsi que sa répartition dans les 25 rivières à saumon de l'île d'Anticosti. Le présent travail s'inscrit dans la continuité du précédent. Il a pour objectif d'évaluer les probabilités de rétablissement de la métapopulation, le moment où il sera atteint, ainsi que les niveaux d'exploitation qui ne risquent pas de compromettre la survie ou le rétablissement de l'espèce. Le modèle final inclut également les dernières données disponibles, i.e. les données de 2012.

Malgré une tendance à l'augmentation depuis 2006, l'abondance des retours d'adultes sur l'île d'Anticosti diminue en 2011 et 2012. Le modèle présenté dans cette étude, construit à partir des données propres à la métapopulation, a permis d'estimer une limite de conservation (LC) qui est nettement inférieure à la LC utilisée actuellement pour la gestion et basée sur les données de 6 rivières témoins du Québec (Fontaine et Caron 1999). Les paramètres actuels de la dynamique de renouvellement montrent que la population est viable. La probabilité que le stock de géniteurs ait été supérieur à la LC varie entre 0,95 et 1. Plusieurs scénarios de productivité (variation de la survie et de la capacité d'accueil) et de gestion de la pêche sportive ont été testés et aucun ne montre d'effet de la pêche sportive sur la diminution des effectifs de retours d'adultes.

2 INTRODUCTION

Le saumon atlantique (*Salmo salar L.*) est une espèce amphihaline, anadrome et phylopatrique (Webb *et al.* 2007). Son cycle de vie se divise en deux phases :

- une phase de reproduction et de croissance des juvéniles qui se déroule en eau douce ;
- et une phase de croissance des adultes qui a lieu dans les eaux salées de l'océan Atlantique.

Pour les populations canadiennes (COSEPAC 2011), la première phase dure entre une et huit années et la deuxième phase dure entre une et quatre années. Les saumons ayant passé un hiver en mer sont appelés madeleineaux, ou unibermarins, et ceux ayant passé plus de deux hivers en mer sont appelés rédibermarins, ou pluribermarins. Après leur phase de croissance dans l'océan, les adultes retournent dans leur rivière natale avec une fidélité forte (phénomène de homing) pour se reproduire. Cette espèce comprend également d'autres phénotypes mais ces derniers ne sont pas considérés dans ce rapport.

La métapopulation de saumon atlantique de l'île d'Anticosti (Québec) fait l'objet d'un suivi depuis 1984. En novembre 2010, elle a été désignée « en voie de disparition » par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC 2011). La désignation de ce statut est basée sur une étude montrant un déclin d'environ 40 % du nombre total d'adultes de 1993 à 2007, avec un effectif total de 2 414 en 2008. Après la désignation par le COSEPAC d'une

population comme étant en péril, une évaluation du potentiel de rétablissement de cette dernière est réalisée. Cette évaluation intègre un avis scientifique dont fait partie le travail présenté dans ce rapport. Un premier travail ayant pour but d'évaluer l'évolution, de 1984 à 2011, la situation actuelle et la trajectoire récente de la métapopulation ainsi que sa répartition dans les 25 rivières à saumon de l'île d'Anticosti a été réalisé. Le présent travail s'inscrit dans la continuité du précédent, en couplant le modèle développé avec un modèle concernant la dynamique de renouvellement de la métapopulation. Le modèle final inclut également les dernières données disponibles, i.e. les données de 2012. Ce travail a pour objectif d'évaluer les probabilités de rétablissement de la métapopulation et le moment où il sera atteint, ainsi que les niveaux d'exploitation qui ne risquent pas de compromettre la survie ou le rétablissement de l'espèce.

Cette étude est initiée et financée par Pêches et Océans Canada (MPO). Les données ont été récoltées par le Parc National d'Anticosti, le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) et la Société des Établissements de Plein Air du Québec (SÉPAQ).

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 L'ÎLE D'ANTICOSTI ET SA MÉTAPOPULATION DE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR L.*)

L'île d'Anticosti est située dans le golfe du Saint-Laurent (Québec) et possède 25 rivières dans lesquelles se reproduit le saumon atlantique (Figure 1). Depuis 1993, la rivière Du Brick ne possède plus le statut de rivière à saumon en vertu du Règlement de pêche du Québec (MRNF, 2011). Cependant, étant donné la présence de certains individus dans cette rivière avant 1993, elle est considérée dans cette étude comme pouvant accueillir des saumons durant toute la période d'étude.

Dionne *et al.* (2008) ont montré qu'il existe un flux de gènes important entre les rivières de l'île alors que ce flux est plus faible entre l'ensemble de ces rivières et les autres rivières à saumon du Québec et du Labrador. Les individus se reproduisant dans les rivières de l'île d'Anticosti peuvent donc être considérés comme étant issus d'une métapopulation composée de plusieurs populations interconnectées entre elles. Bien qu'ayant sa propre identité génétique, la métapopulation de l'île d'Anticosti possède un certain niveau de connectivité avec les autres populations canadiennes.

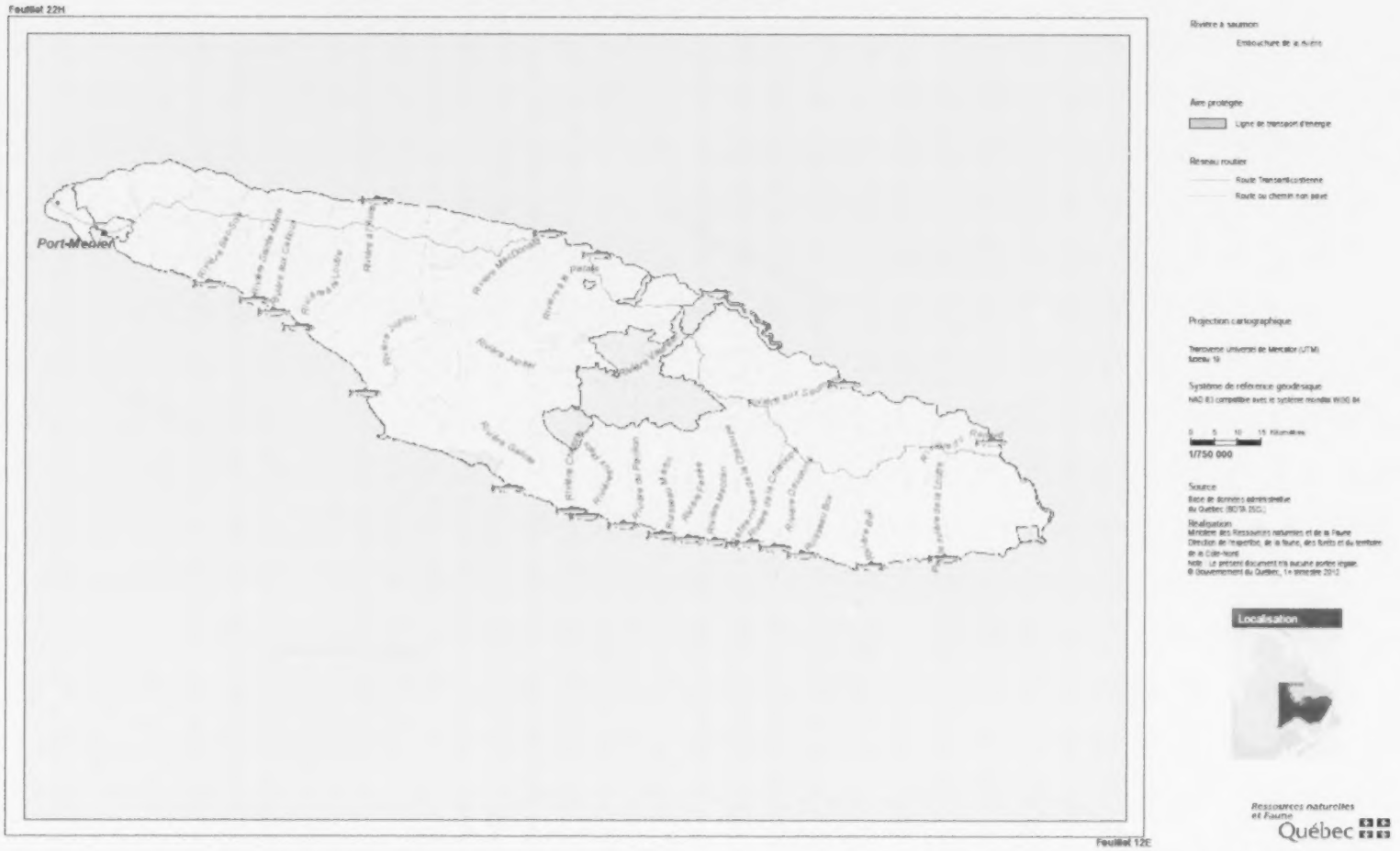


Figure 1. Île d'Anticosti (Québec) et ses 25 rivières à saumon atlantique (Salmo salar L.). La rivière du Brick a été ajoutée à la carte originale.

3.2 NOTATION

La distribution de probabilité de a conditionnellement à b est notée $a\ b\sim$ distribution $(f_a\ (b))$, où f_a est une fonction déterministe de b. Les caractères écrits entre parenthèses donnent des informations spatio-temporelles sur la grandeur (i.e. l'année t et la rivière i, indicée de 1 à 25). La Table 1 indique la correspondance entre les noms et les indices utilisés pour les 25 rivières. Les indices localisés en bas à droite des variables indiquent à quoi cette dernière se rapporte, e.g. μ_R correspond à la moyenne de la grandeur R. La Table 2 présente l'ensemble des grandeurs utilisées et leur notation.

Table 1. Liste et indices des rivières à saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

Rivière	Indice (i)
Á l'Huile	1
MacDonald	2
Á la Patate	3
Vauréal	4
Aux Saumons	5
Du Renard	6
Petite rivière de la Loutre	7
Bell	8
Ruisseau Box	9
Dauphiné	10
Petite rivière de la Chaloupe	11
Maccan	12
De la Chaloupe	13
Ferrée	14
Ruisseau Martin	15
Du Pavillon	16
Aux Plats	17
Chicotte	18
Galiote	19
Du Brick	20
Jupiter	21
Á la Loutre	22
Aux Cailloux	23
Sainte-Marie	24
Bec-Scie	25

Table 2. Notations pour les grandeurs du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

Notation	Définition	Équation
Notation générale		
t	Année : indicée de 1 à 29 pour les années avec des données, i.e. les années de 1984 à 2012, et de 30 à 44 pour les projections, i.e. les années de 2013 à 2027	
T	Dernier pas de temps du modèle stochastique d'états (ici, T = année 2012)	
i	Rivière : de 1 à 25 (cf. Table 1 et Figure 1 pour plus d'information sur le nom et la localisation des rivières)	
Φ	Vecteur des paramètres	Eqs. (E.1)-(E.3)
Φ_{dyn}	Vecteur des paramètres du processus dynamique du modèle stochastique d'états (Figure E.1.)	
Φ_{obs}	Vecteur des paramètres du processus d'observation du modèle stochastique d'états (Figure E.1.)	
$\theta(t)$	Vecteur des états cachés (grandeurs inconnues) du modèle stochastique d'états pour le pas de temps t (Figure E.1.)	
$Y(t)$ / Y	Vecteur des observables, i.e. les données lorsqu'elles sont observées (Figure E.1.)	Eqs. (E.1)-(E.3)
Paramètres		
β	Paramètre reflétant l'effet de la surface sur les probabilités de retour dans les différentes rivières de l'île	Eq. (4)
$\mu_\gamma(1)$ et $\mu_\gamma(2)$	$\mu_\gamma(1)$: moyenne des $\gamma(i)$ pour les rivières à capturabilité faible (i = 5, 13, 21 à 25) et $\mu_\gamma(2)$: moyenne des $\gamma(i)$ pour les rivières à capturabilité forte (i = 1 à 4, 6 à 12, 14 à 20)	Eqs. (1) et (2)
μ_R	Moyenne du logarithme des $R(i)$, de 1984 à 1989	Eq. (12)

μ_{UP}	Moyenne du logarithme des $UP(i)$	Eq. (5)
φ	Effet de la restriction sur le type d'individu ciblé par la pêche sportive (remise à l'eau des individus dont la taille est supérieure à 63 cm) sur la moyenne du logarithme de la capturabilité	Cf. Rapport #1
ψ	Proportion du recrutement produit par la cohorte (t-5)	Eq. (9)
ρ	Coefficient d'auto-corrélation d'ordre 1 de $\varepsilon(t)$	Eqs. (7) et (11)
σ_α	Ecart-type des $\alpha(i)$	Eq. (4)
σ_γ	Ecart-type des $\gamma(i)$	Eqs. (1) et (2)
σ_q	Ecart-type du logarithme des $q(t,i)$	Cf. Rapport #1
σ_R	Ecart-type du logarithme des $R(t)$, de 1984 à 1989	Eq. (12)
σ_{SR}	Ecart-type de la variabilité interannuelle (variabilité résiduelle, après que l'auto-corrélation sur la variabilité interannuelle ait été prise en compte)	Eq. (8)
σ'_R	Ecart-type de la relation stock-recrutement	Eqs. (10) et (11)
σ_R	Ecart-type du logarithme des $UP(i)$	Eq. (5)
S_{max}	Nombre de géniteurs (Stock) produisant le maximum de recrue (R)	Eqs. (6), (13) et (17)
τ	Logarithme du taux de survie aux faibles valeurs de stock	Eqs. (6), (13) et (17)
Variables latentes		
$\alpha(i)$	Paramètres de la distribution de Dirichlet pour $p(t,i)$	Eqs. (3) et (4)
C_{MSY}	Captures maximum soutenable (MSY pour "Maximum Sustainable Yield")	Eq. (13)
$\varepsilon(t)$	Résidus du modèle stock-recrutement	Eqs. (6), (7), (10), (11) et (17)

$\gamma(i)$	Moyenne du logarithme de la capturabilité d'un individu (toute taille confondue) dans la rivière i	Eqs. (1) et (2)
$p(t,i)$	Probabilité de migrer dans la rivière i durant l'année t, pour un adulte de retour sur l'île d'Anticosti	Eq. (3)
$\pi(t,i)$	Probabilité de capture par la pêche sportive dans la rivière i durant l'année t	Cf. Rapport #1
$q(t,i)$	Capturabilité dans la rivière i durant l'année t	Cf. Rapport #1
$R(t)$	Retour total d'adultes sur l'île d'Anticosti durant l'année t	Eqs. (6), (9), (12) et (17)
$S(t)$ / S	Stock de géniteurs produisant $R(t)$ / R	Eqs. (6), (9), (13) et (17)
S_{MSY}	Niveau de stock qui permet un rendement maximum soutenable	Eq. (13)
$\omega(t,i)$	Nombre d'oeufs déposés dans la rivière i, l'année t	Eq. (14)
Observables		
$C(t,i)$	Captures d'adultes par la pêche sportive dans la rivière i durant l'année t	Cf. Rapport #1
$N(t,i)$	Dénombrements d'adultes, via des barrières de comptage ou en apnée, dans la rivière i durant l'année t	Eqs. (15) et (16), et Rapport #1
$N_{MAD}(t,i)$	Dénombrements de madeleineaux dans la rivière i durant l'année t	Eqs. (14)-(16)
$N_{RED}(t,i)$	Dénombrements de rédibermarins dans la rivière i durant l'année t	Eqs. (14) et (16)
Co-variables		
δ	Effet multiplicatif sur la productivité de la métapopulation	Eq. (17)
$E(t,i)$	Effort de pêche, en jours-pêche, dans la rivière i durant l'année t	Cf. Rapport #1

F_{MAD}	Taux de fécondité chez les madeleineaux	Eq. (14)
F_{RED}	Taux de fécondité chez les rédibermarins	Eq. (14)
$I(t,i)$	Indicatrice qui vaut 0 si la pêche sportive cible tous les individus l'année t dans la rivière i et qui vaut 1 si elle ne cible que les individus dont la taille est inférieure à 63 cm (remise à l'eau des grands saumons)	Cf. Rapport #1
$P(t)$	Nombre d'adultes prélevés avant la reproduction (principalement des captures par la pêche sportive)	Eq. (9)
$P_{MAD}(t, i)$	Nombre de madeleineaux prélevés avant la reproduction	Eq. (14)
$P_{RED}(t, i)$	Nombre de rédibermarins prélevés avant la reproduction	Eq. (14)
$P_{MAD}(t, i)$	Proportion de madeleineaux dans la rivière i, l'année t	Eq. (15)
$UP(i)$	Surface de la rivière i en unité de production	Eqs. (4) et (5)
$W_{MAD}(t, i)$	Poids moyen des madeleineaux dans la rivière i pour l'année t	Eq. (14)
$W_{RED}(t, i)$	Poids moyen des rédibermarins dans la rivière i pour l'année t	Eq. (14)
$\zeta_{MAD}(i)$	Proportion de femelles chez les madeleineaux	Eq. (14)
$\zeta_{RED}(i)$	Proportion de femelles chez les rédibermarins	Eq. (14)

3.3 MODÈLE POUR LA DYNAMIQUE DE RENOUVELLEMENT DE LA MÉTAPOPULATION

Dans ce travail, un modèle stochastique d'états (MSE, Encart 1) est élaboré pour l'étude de la dynamique de renouvellement de la métapopulation. Le processus d'observation est présenté en détail dans le précédent rapport et seulement quelques améliorations réalisées sur ce dernier sont présentées dans ce rapport. Ensuite, le processus dynamique est présenté en détail.

Encart 1 : les modèles stochastiques d'états

Un modèle stochastique d'états (MSE ; King *et al.* 2010 chapitre 10) se décompose en deux processus (Figure E.1) :

- le processus dynamique d'intérêt, composé de l'enchaînement temporel d'états $\theta(t)$ qui dépendent de paramètres Φ_{dyn} ;
- et le processus d'observation, qui modélise la manière dont les observables $Y(t)$, i.e. les données lorsqu'elles sont observées, sont obtenues à partir des états $\theta(t)$ et des paramètres d'observation Φ_{obs}.

Les états $\theta(t)$ sont des grandeurs latentes inconnues, i.e. non-accessibles directement à l'observation. Dans cette étude, le processus dynamique d'intérêt est la dynamique de renouvellement de la métapopulation de saumon atlantique de l'île d'Anticosti. Le pas de temps t correspond à une année et les états $\theta(t)$ sont les effectifs d'adultes pour les années allant de 1984 (t_1) à 2012 (t_T). Ces modèles permettent de faire des inférences, c'est-à-dire de faire remonter l'information des observables $Y(t)$ pour estimer les états $\theta(t)$ puis les paramètres Φ_{dyn}.

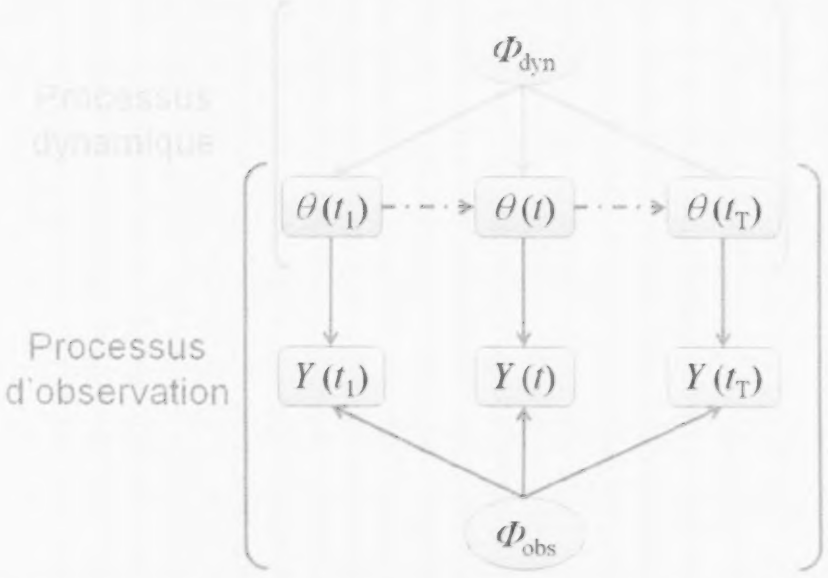


Figure E.1. Schéma général d'un modèle stochastique d'états (MSE). $t = t_1$ à t_T : pas de temps ; $Y(t)$: vecteur des observables (i.e. les données lorsqu'elles sont observées) au pas de temps t ; $\theta(t)$: vecteur des états cachés (i.e. des grandeurs latentes inconnues) au pas de temps t ; $\Phi = \{\Phi_{dyn}, \Phi_{obs}\}$: les paramètres des processus dynamique et d'observation. Les flèches représentent les relations de dépendance conditionnelle entre les grandeurs.

3.3.1 Processus d'observation : améliorations du modèle

Le modèle a été amélioré d'après la discussion de Brun et Prévost (présent rapport, première partie). Premièrement, deux paramètres de moyenne ont été introduits pour la capturabilité afin de différencier les rivières dans lesquelles la capturabilité est forte de celles dans lesquelles la capturabilité est faible. Aucune différence d'écart-type n'a pu être mise en évidence, un seul paramètre σ_γ a donc été introduit :

$\gamma(i)|\mu_\gamma(1), \sigma_\gamma$ ~ Normale($\mu_\gamma(1), \sigma_\gamma$), pour les rivières 5, 13 et de 21 à 25 (1)

$\gamma(i)|\mu_\gamma(2), \sigma_\gamma$ ~ Normale($\mu_\gamma(2), \sigma_\gamma$, pour les rivières de 1 à 4, de 6 à 12 et de 14 à 20 (2)

Deuxièmement, une co-variable $UP(i)$, correspondant à la surface de la rivière i en unité de production, a également été introduite pour apporter de l'information sur la taille de la population dans chaque rivière de l'île. Les probabilités de retour dans les différentes rivières pour l'année t sont toujours supposées suivre une distribution de Dirichlet dont les paramètres $\{\alpha(i), i = 1 \text{ à } 25\}$ dépendent des rivières :

$(p(t, 1), ..., p(t, 25))|(\alpha(1), ..., \alpha(25))$ ~ Dirichlet $(\alpha(1), ..., \alpha(25))$ (3)

L'espérance de la probabilité de retour dans la rivière i, $\left(\alpha(i)/\left(\sum_{i=1}^{25} \alpha(i)\right)\right)$, est a priori supposée être égale à la taille de la rivière i relativement aux autres rivières $\left(UP(i)/\left(\sum_{i=1}^{25} UP(i)\right)\right)$. Les paramètres $\{\alpha(i), i = 1 \text{ à } 25\}$ sont supposés suivre chacun une distribution Gamma de moyenne $(\beta UP(i))) / (\sum_i UP(i))$ et d'échelle inverse $(\beta UP(i))/((\sum_i UP(i))\sigma_\alpha^2)$:

$$\alpha(i)|\beta, UP(i), \sigma_\alpha \sim \text{Gamma}\left(\frac{\beta UP(i)}{\sum_i UP(i)}, \frac{\beta UP(i)}{\sum_i UP(i)\sigma_\alpha^2}\right) \quad (4)$$

Le paramètre β est introduit pour régler la précision de la distribution de Dirichlet, i.e. la variabilité interannuelle des probabilités $p(t,i)$, et le paramètre σ_α représente la variabilité (écart-type) des $\alpha(i)$ autour de leur moyenne. A priori, la moyenne des $p(t,i)$ est égale à $\left(UP(i)/\left(\sum_{i=1}^{25} UP(i)\right)\right)$ et la variance à $\left((UP(i)\left(\left(\left(\sum_{i=1}^{25} UP(i)\right)\right) - UP(i)\right)\right) / \left(\left(\sum_{i=1}^{25} UP(i)\right)(\beta + 1)\right)\right)$

Le calcul de la surface n'a jamais été réalisé pour 4 rivières de l'île, soit peu importantes en terme d'exploitation (ruisseau Martin, rivière Maccan et Petite rivière de la Chaloupe) ou en terme d'effectif d'adultes (rivière Du Brick, qui a perdu son statut de rivière à saumon en 1993). Comme pour toute grandeur inconnue, un modèle doit être introduit pour $UP(i)$ afin d'estimer les surfaces manquantes. La surface $UP(i)$, pour la rivière i, est supposée suivre une distribution Log-Normale de moyenne μ_{UP} et d'écart-type σ_{UP} :

$$UP(i)|\mu_{UP}, \sigma_{UP} \sim \text{Log- Normale}(\mu_{UP}, \sigma_{UP}) \quad (5)$$

3.3.2 Processus dynamique : modèle de Ricker

Le modèle dynamique développé dans cette étude correspond à un modèle stock recrutement reliant le stade adulte et sa descendance au même stade. Afin de rester cohérent avec le modèle actuellement utilisé pour la gestion du saumon atlantique au Québec (Fontaine et Caron, 1999 ; Palstra et Dionne 2011), le modèle de Ricker (Ricker 1954) a été choisi pour décrire le processus de recrutement. Un processus d'erreur multiplicative, $\exp(\varepsilon(t))$, supposée distribuée selon une loi

Log-Normale représente la variabilité interannuelle du recrutement :

$$R(t) = S(t) \exp\left(\tau - \frac{S(t)}{Smax}\right) \exp\left(\varepsilon(t)\right) \quad (6)$$

avec $R(t)$ le retour total d'adultes l'année t, $S(t)$ le stock de géniteurs produisant $R(t)$, $\exp(\tau)$ le taux de survie aux faibles valeurs de stock et S_{max} la valeur du stock pour laquelle un maximum de recrues est produit. La variabilité interannuelle du recrutement est supposée être auto-corrélée, avec ρ le coefficient d'auto-corrélation d'ordre 1.$\varepsilon(t)$ est donc supposé être égal à :

$$\varepsilon(t) = \rho\varepsilon(t\text{-}1) + \upsilon(t), \text{ avec :} \quad (7)$$

$$\upsilon(t) \mid \sigma_{SR} \sim \text{Normale}(0, \sigma_{SR}) \quad (8)$$

En ce qui concerne la métapopulation de l'île d'Anticosti, la majorité des individus passent 3 années en rivière avant leur séjour en mer, qui dure 1 an pour les madeleineaux ou 2 ans pour les rédibermarins. Ainsi, le recrutement de l'année t dépend des cohortes t-4 et t-5 (Figure 2). $S(t)$ correspond donc à une somme pondérée des individus s'étant reproduit les années t-5 et t-6 :

$$S(t) = \psi(R(t\text{-}5) - P(t\text{-}5)) + (1\text{-}\psi)(R(t\text{-}6) - P(t\text{-}6)), \quad (9)$$

avec ψ la proportion du recrutement produit par les reproducteurs de l'année (t-5) et $P(t)$ le nombre d'adultes prélevés avant la reproduction (principalement des captures par la pêche sportive). Notons que dans ce rapport $S(t)$ correspond au nombre d'individus qui contribuent principalement à la production de la cohorte t (dénommé "le stock de géniteurs" ou "les géniteurs") et $R(t)$ - $P(t)$ correspond au nombre d'individus se reproduisant l'année t, (nommé "les reproducteurs"). L'information disponible permet d'estimer les valeurs du stock de 1990 (qui correspond à la somme pondérée des reproducteurs de 1984 et 1985) à 2017 (qui correspond à la somme pondérée des reproducteurs de 2011 et 2012). Dans cette étude, le modèle stock-recrutement commence donc en 1990. Il est alors nécessaire d'initialiser la série des $\varepsilon(t)$. $\varepsilon(7)$ est supposé suivre une distribution Normale de moyenne nulle et d'écart-type σ'_{SR} :

$$\varepsilon(7) \mid \sigma'_{SR} \sim \text{Normale}(0, \sigma'_{SR}) \quad (10)$$

σ'_{SR} correspond à l'écart-type de la relation stock-recrutement, sans prendre en compte l'autocorrélation. Nous avons donc :

$$(\sigma'_{SR})^2 = \text{VARIANCE}(\rho\varepsilon(t\text{-}1) + \upsilon(t)) = \rho^2 (\sigma'_{SR})^2 + (\sigma_{SR})^2 = ((\sigma_{SR})2)/(1 - \rho2) \quad (11)$$

De 1984 à 1989, $R(t)$ est toujours supposé suivre une distribution Log-Normale de moyenne μ_R et d'écart-type σ_R communs pour ces 6 années :

$$R(t) \mid \mu_R, \sigma_R \sim \text{Log-Normale}(\mu_R, \sigma_R), \text{ pour } t = 1 \text{ à } 6 \quad (12)$$

Le couplage des deux processus permet de faire remonter l'information des données pour estimer les effectifs d'adultes ainsi que les paramètres de la dynamique de renouvellement de la métapopulation, i.e. les paramètres du modèle de Ricker, dans un cadre unique et cohérent

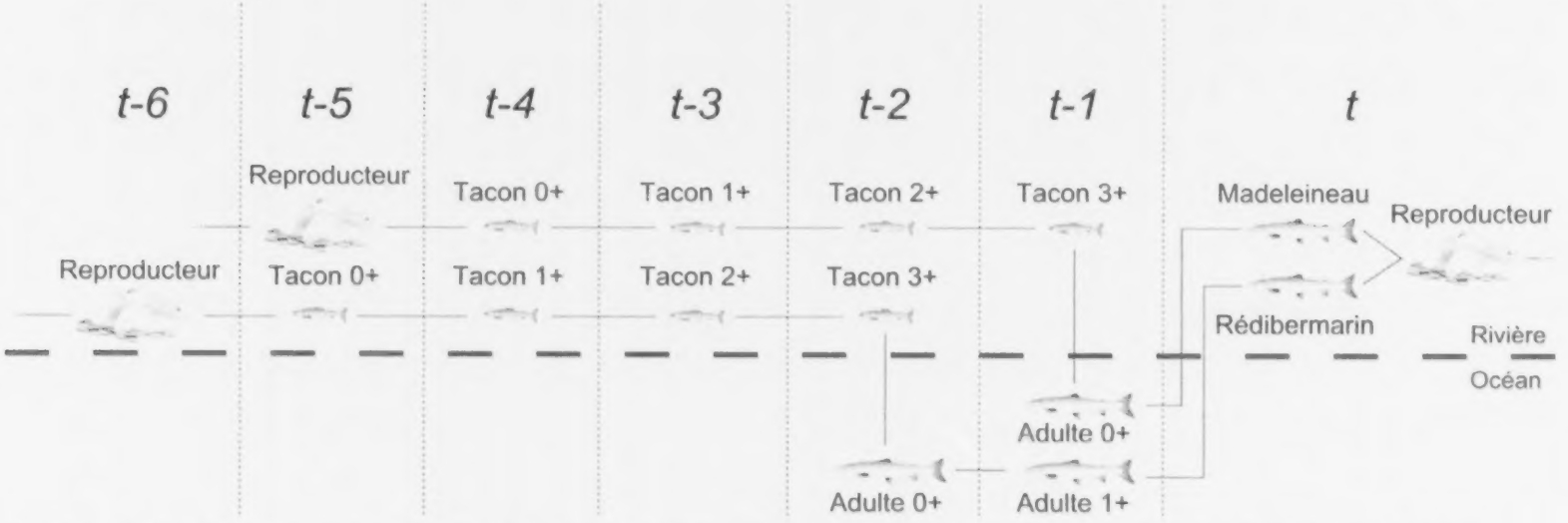


Figure 2. Cycle de vie du saumon atlantique (Salmo salar L.) utilisé pour l'étude du potentiel de rétablissement de la métapopulation de l'île d'Anticosti (Québec).

3.3.3 DAG et priors pour les paramètres

Ce modèle probabiliste peut être représenté par un graphique acyclique orienté (DAG pour Directed Acyclic Graph), une représentation conventionnelle de la structure de dépendance conditionnelle pour les modèles Bayésiens (Figure 3).

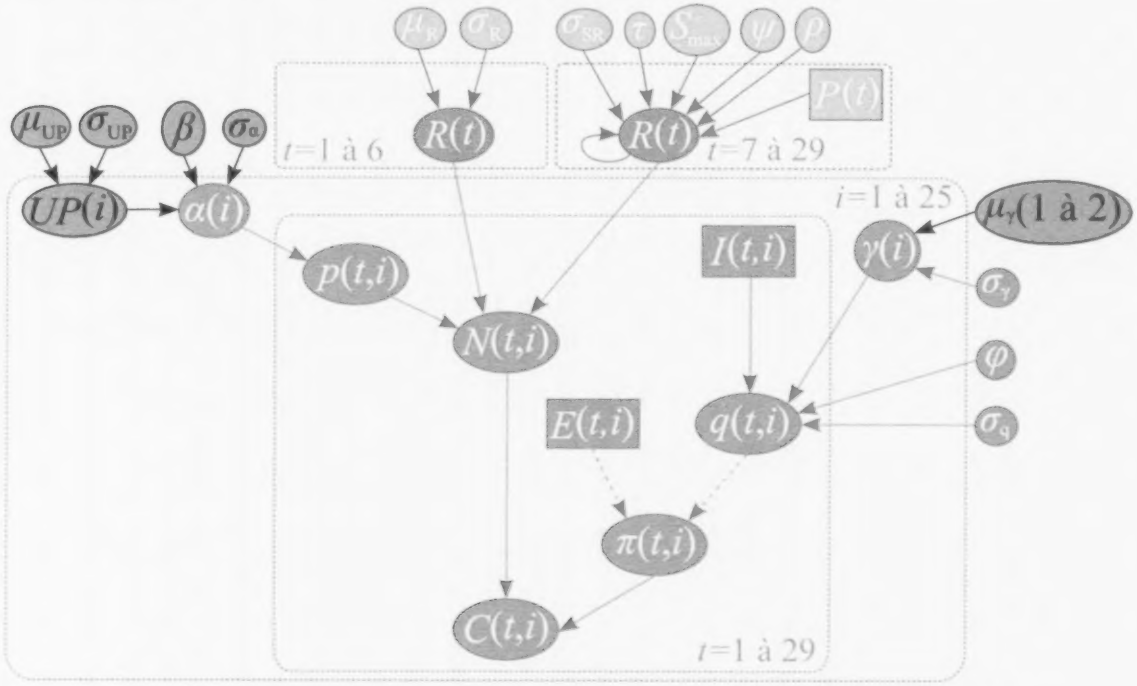


Figure 3. Graphique acyclique orienté pour le modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Les cadres en gris représentent les répétitions de structure dans le temps (année t) et l'espace (rivière i). Les noeuds représentent les grandeurs du modèle (des rectangles pour les covariables connues et des ovales pour les variables aléatoires). Les flèches indiquent les relations conditionnelles entre les noeuds (des lignes en pointillés pour les relations déterministes et des lignes pleines pour les relations probabilistes). Les différentes couleurs représentent : (i) le processus d'observation (bleu et rouge) ; (ii) et le processus dynamique (vert et rouge). Les noeuds écrits en noir correspondent aux améliorations apportées au modèle d'observation de Brun et Prévost (présent rapport, première partie). Le lecteur peut se référer au texte et à la Table 2 pour plus d'information sur la signification des grandeurs.

Les paramètres $\{\beta, \mu_\gamma(1), \mu_\gamma(2), \mu_R, \mu_{UP}, \varphi, \psi, \sigma_\alpha, \sigma_\gamma, \sigma_q, \sigma_R, \sigma_{SR}, \sigma_{UP}, \rho, S_{max}, \tau\}$ ne sont conditionnés par aucune grandeur. Dans un cadre Bayésien (cf. Encart 2), des distributions de probabilité a priori, appelées priors, doivent être assignées à chacun de ces paramètres. Des priors peu informatifs ont été choisis (Table 3) afin que les distributions a posteriori, appelées posteriors, reflètent essentiellement l'information apportée par les données.

Table 3. Distributions de probabilité a priori pour les paramètres du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

Paramètre	Prior
β	Gamma (1, 0,01), restreinte aux valeurs supérieures à 1
$\mu_\gamma(1)$ et $\mu_\gamma(2)$	Normale (0, 10)
μ_R	Normale (0, 10)
μ_{UP}	Normale (12, 10)
φ	Normale (0, 10)
ψ	Beta (2, 2)
σ_α	$\chi^2(3)$
σ_γ	$\chi^2(3)$
σ_q	$\chi^2(3)$
σ_R	$\chi^2(3)$
σ_{SR}	$\chi^2(3)$
σ_{UP}	$\chi^2(3)$
ρ	Uniforme (-1, 1)
$\frac{1}{S_{max}}$	Normale (0,0005, 1)
τ	Uniforme (-3, 3)

Note : les distributions Gamma sont écrites avec leurs paramètres de moyenne, μ, et d'échelle inverse, η (Gamma(μ, η)) ; les distributions Normales et Log-Normales sont écrites avec leurs paramètres de moyenne, μ, et d'écart-type, σ (Normale(μ, σ) et Log-Normale (μ, σ)).

Encart 2 : l'approche statistique Bayésienne

L'approche statistique Bayésienne (Gelman et *al.* 2004 ; King et *al.* 2010) considère les grandeurs inconnues d'un modèle, aussi appelées paramètres et notées Φ, en tant que variables aléatoires en leur assignant une distribution de probabilité (DP). Elle est fondée sur 3 composantes majeures :

- une DP a priori pour les paramètres, plus communément appelée prior ;
- la vraisemblance des données ;
- et une DP a posteriori pour les paramètres, plus communément appelée posterior.

Le *prior*, noté $\Pr(\Phi)$, reflète la connaissance que l'on a a priori, c'est-à-dire avant la récolte des données, sur les paramètres du modèle. La *vraisemblance*, notée $\Pr(Y|\Phi)$, correspond à la probabilité d'obtenir les données observées, notées Y, conditionnellement à la valeur des paramètres. En d'autres termes, elle reflète la plausibilité des données sous différentes valeurs des paramètres. La combinaison de ces deux composantes donne le *posterior*, noté $\Pr(\Phi|Y)$, qui reflète la probabilité des différentes valeurs des paramètres conditionnellement aux données observées. Il correspond à la mise à jour de la connaissance initiale, i.e. du pri or, par l'expérience, i.e. la vraisemblance. Cette mise à jour est explicitée mathématiquement par le théorème de Bayes :

$$\Pr(\Phi|Y) = \frac{\Pr(Y|\Phi)\Pr(\Phi)}{\Pr(Y)} \quad \text{(E2.1)}$$

avec $\Pr(Y)$ la vraisemblance intégrée sur toutes les valeurs possibles des paramètres :

$$\Pr(Y) = \int \Pr(Y|\Phi)\ \Pr(\Phi)\ d\Phi \quad \text{(E2.2)}$$

Pour Y fixé, $\Pr(Y)$ est une constante de normalisation, l'Eq. (E2.1) peut donc être écrite sous la forme :

$$\Pr(\Phi|Y) \propto \Pr(Y|\Phi)\ \Pr(\Phi) \quad \text{(E2.3)}$$

Le posterior reflète l'incertitude des paramètres. Cette incertitude peut être résumée en terme "d'intervalle de crédibilité Bayésien" : un intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % indique que 90 % des valeurs possibles du paramètre se trouvent entre les bornes de l'intervalle. Le posterior résulte d'un compromis entre la vraisemblance et le prior. Il permet d'évaluer l'information apportée par les données.

3.3.4 Calcul des points de référence

La limite de conservation (LC) correspond au nombre de géniteurs en dessous duquel il ne faut pas descendre. Le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) a défini cette LC comme étant le niveau de stock qui permet un rendement maximum soutenable (MSY pour "Maximum Sustainable Yield" ; ICES, 2010), i.e. qui permet un nombre total de captures le plus élevé possible sur le long terme. La LC, S_{MSY}, est donc égale à la valeur du stock pour laquelle la différence entre le recrutement moyen et le stock est maximum (Figure 4) :

$$S_{MSY} : C_{MSY} = S_{MSY} \exp(\tau - \frac{S_{MSY}}{S_{max}}) - S_{MSY} = \max_{S \in \mathbb{N}^+} (S \exp(\tau - \frac{S}{S_{max}}) - S) \quad (13)$$

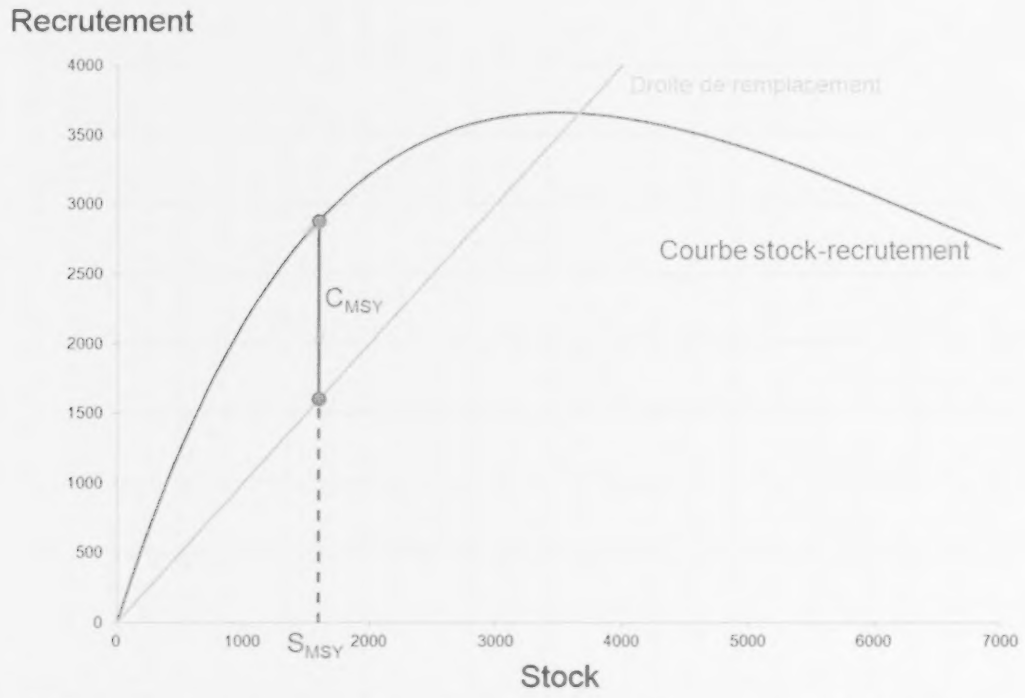


Figure 4. Courbe stock-recrutement d'un modèle de Ricker, droite de remplacement et points de référence définis par le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM). C_{MSY} : nombre total de capture maximum sur le long terme ; S_{MSY} : valeur du stock qui permet d'obtenir C_{MSY}.

La gestion actuelle de la métapopulation de saumon atlantique de l'île d'Anticosti est basée sur une LC par rivière, pour 21 des 25 rivières, et exprimée en nombre d'œufs requis chaque année (COSEPAC, 2011). Cette LC est issue d'un modèle stock-recrutement de Ricker construit à l'aide de 6 rivières modèles (Fontaine et Caron, 1999) puis appliqué sur l'ensemble des rivières du Québec. Une comparaison des résultats obtenus avec S_{MSY} et avec la quantité d'œufs totale requise actuellement est réalisée. Pour cela, la dépose d'œufs dans la rivière i pour l'année t, $\omega(t,i)$, est calculée avec la formule suivante :

$$\omega(t,i)=(N_{MAD}(t,i) - P_{MAD}(t,i))\ \zeta_{MAD}(i)W_{MAD}(t,i)F_{MAD} + (N_{RED}(t,i)-P_{RED}(t,i))\zeta_{RED}(i)W_{RED}(t,i)F_{RED}, \text{ avec :} \quad (14)$$

- $N_{MAD}(t\ i)$ et $N_{RED}(t,\ i)$ les effectifs de madeleineaux et de rédibermarins dans la rivière i pour l'année t;
- $P_{MAD}(t,\ i)$ et $P_{RED}(t,\ i)$ les nombres de madeleineaux et de rédibermarins prélevés avant la reproduction dans la rivière i pour l'année t ;
- $\zeta_{MAD}(i)$ et $\zeta_{RED}(i)$ les proportions de femelles chez les madeleineaux et les rédibermarins dans la rivière i ;
- $W_{MAD}(t,i)$ et $W_{RED}(t,i)$ les poids moyens des madeleineaux et des rédibermarins dans la rivière i pour l'année t ;
- F_{MAD} et F_{RED} les taux de fécondité chez les madeleineaux et les rédibermarins.

Les madeleineaux et les rédibermarins sont supposés avoir un taux de fécondité de 2 430 et de 1 600 oeufs/femelle/kg respectivement (Charlène Lavallée, comm. pers.). Les années et les rivières pour lesquelles les poids moyens $W_{MAD}(t,i)$ et $W_{RED}(t,i)$ ne sont pas disponibles, les poids moyens de 1,5 kg pour les madeleineaux et de 3,45 kg pour les rédibermarins sont utilisés (Charlène Lavallée, comm. pers.). Les madeleineaux et les rédibermarins sont supposés être composés de 14 % et de 68 % de femelles respectivement sauf pour la rivière Bec-Scie pour laquelle les proportions sont de 19 % et 63 % respectivement (Charlène Lavallée, comm. pers.).

Les années pour lesquelles des données de dénombrement sont disponibles (Brun et Prévost, présent rapport, première partie), $N_{MAD}(t,i)$ et $N_{RED}(t,i)$ sont connus. Pour les autres unités (t,i), $N_{MAD}(t,i)$ correspond au produit entre $N(t,i)$ et la proportion de madeleineaux dans la rivière i, l'année t, $P_{MAD}(t,i)$, et $N_{RED}(t,i)$ correspond à la différence entre $N(t,i)$ et $N_{MAD}(t,i)$:

$$N_{MAD}(t,i) = P_{MAD}(t,i)N(t,i) \quad (15)$$

$$N_{RED}(t,i) = N(t,i) - N_{MAD}(t,i) \quad (16)$$

La proportion $P_{MAD}(t,i)$ est calculée de 3 façons selon le type de données disponibles :

- lorsque des données de dénombrement sont disponibles pour l'unité (t,i), $P_{MAD}(t,i) = N_{MAD}(t,i) \mid N(t,i)$;
- lorsque qu'aucune donnée de dénombrement n'est disponible mais que des données de capture sont disponibles et qu'aucune mesure de gestion n'est appliquée dans l'unité (t,i), $P_{MAD}(t,i) C_{MAD}(t,i) \mid C(t,i)$;
- lorsque qu'il y a ni donnée de dénombrement ni donnée de capture, ou qu'une catégorie seulement d'individus est ciblée, $P_{MAD}(t,i)$est égale à la moyenne des proportions dans la rivière i pour les années pour lesquelles les deux situations précédentes s'appliquent.

3.4 EVALUATION DE L'IMPACT DE SCÉNARIOS DE GESTION ET D'UNE MODIFICATION DES PARAMÈTRES DU CYCLE BIOLOGIQUE

Le modèle décrit précédemment est utilisé pour prédire l'évolution de la population sur 3 générations, i.e. de 2013 à 2027. Différentes hypothèses de productivité, i.e. de modification de la survie et de la capacité d'accueil, et différents scénarios de gestion de la pêche sportive sont testés. Un effet multiplicatif δ est ajouté au modèle de Ricker pour refléter une modification de la survie et de la capacité d'accueil de la métapopulation :

$$R(t) = \delta S(t) \exp\left(\tau - \frac{S(t)}{S_{max}}\right) \exp(\varepsilon(t)), \text{ pour } t = 30 \text{ à } 44 \quad (17)$$

Trois valeurs de δ ont été testées, correspondant à :

- **A.** aucune modification de la survie et de la capacité d'accueil ($\delta = 1$) ;
- **B.** 25 % d'augmentation de la survie et de la capacité d'accueil ($\delta = 1{,}25$) ;
- et **C.** 25 % de diminution de la survie et de la capacité d'accueil ($\delta = 0{,}75$).

Dans un même temps, différents scénarios de gestion de la pêche sportive ont été testés. L'effort de pêche est supposé être constant pour l'ensemble des années de 2013 à 2027 mais différent entre les rivières. La Table 4 présente les 6 scénarios de gestion envisagés.

Table 4. Scénarios de gestion de la pêche sportive testés pour l'évaluation du potentiel de rétablissement de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec)

Effort de pêche	Individus ciblés
a. $E(i)=0$, pour toutes les rivières	Aucun
b. $E(i)=0{,}5\ (\frac{\sum_{t=2002}^{2012} E(t,i)}{11}$	Taille inférieure à 63 cm (madeleineaux principalement) / remise à l'eau des grands saumons
c. $E(i)=\frac{\sum_{t=2002}^{2012} E(t,i)}{11}$	Taille inférieure à 63 cm (madeleineaux principalement) / remise à l'eau des grands saumons
d. $E(i)=\frac{\sum_{t=2002}^{2012} E(t,i)}{11}$	Remise à l'eau de tous les saumons, avec une mortalité liée à la remise à l'eau de 5 %
e. $E(i)=\frac{\sum_{t=2002}^{2012} E(t,i)}{11}$	Remise à l'eau de tous les saumons, avec une mortalité liée à la remise à l'eau de 15 %
f. $E(i)=\frac{\sum_{t=1984}^{1999} E(t,i)}{16}$, sauf pour la rivière du Brick, pour laquelle $E(20)=\frac{\sum_{t=1984}^{1992} E(t,20)}{9}$	Tous

Le scénario **a** correspond à un arrêt total de la pêche ou à une remise à l'eau de tous les saumons avec 0 % de mortalité liée à la remise à l'eau. Bien qu'extrême, ce scénario permet d'étudier l'évolution de la métapopulation sans aucune exploitation en rivière et est ainsi un bon scénario de référence. Le scénario **b** correspond à une réduction de l'effort de pêche 50 % par rapport à la situation moyenne actuelle et instaurée depuis 2002 (scénario **c**). Les scénarios **d** et **e** sont des scénarios intermédiaires entre les scénarios **a** et **c**. Les études portant sur l'impact de la remise à l'eau des poissons sont nombreuses. Casselman (2005) a revue 118 études et a obtenu un taux de mortalité moyen de 16,2 % pour l'ensemble des espèces concernées. Les études revues dans son travail et concernant le saumon atlantique montrent un taux de mortalité qui varie entre 0 et 35 %. Dempson et *al.* (2002) et Thorstad et *al.* (2007) obtiennent respectivement des taux de mortalité de 8,2 % (sur un échantillon de 49 saumons) et de 3 % (sur 2 études portant sur un échantillon total de 62 saumons). D'autres études montrent des taux de mortalité bien plus importants mais un potentiel effet de la température peut être à l'origine de ces résultats (e.g. Anderson *et al.* 1998). Nous avons donc choisi une valeur basse (5 %) et une valeur haute (15 %) reflétant les taux de mortalité de ces études. Enfin, le scénario **f** correspond à la situation moyenne qui avait lieu avant que des mesures de gestion soient mises en place. Au total 18 scénarios ont été évalués, i.e. tous les duos (δ, scénario de gestion).

3.5 INFÉRENCES BAYÉSIENNES

Les inférences Bayésiennes ont été réalisées sous OpenBUGS© (V3.2.1 rev781 ; Thomas et *al.* 2006 ; Lunn et *al.* 2009). Ce logiciel réalise un échantillonnage MCMC (Monte Carlo Markov Chain sampling ; Gelman et *al.* 2004 ; cf. Encart 3) dans la distribution a posteriori jointe de toutes les grandeurs inconnues du modèle, i.e. la distribution de toutes les inconnues

conditionnées par les données observées. La convergence de l'échantillonnage MCMC a été vérifiée et les résultats présentés par la suite sont basés sur un échantillon de 12 000 valeurs.

Encart 3 : Les méthodes de Monte Carlo par chaînes de Markov

Les méthodes MCMC (pour Monte Carlo Markov Chain ; Gelman et *al.* 2004 chapitre 11; Clark, 2007 chapitre 7 ; Link et Barker, 2010 chapitre 4) sont des processus d'échantillonnage stochastique qui permettent d'estimer la distribution jointe a posteriori des grandeurs inconnues, et par conséquent les distributions marginales de chaque grandeur et les quantités remarquables relatives à ces distributions (e.g. moyenne, variance, médiane et intervalle de crédibilité Bayésien). Ces méthodes possèdent la propriété de Markov, i.e. que l'état futur ne dépend que de l'état présent, ainsi l'échantillon est généré de façon itérative via une probabilité de transition $\Pr(\Phi(t)|\Phi(t\text{-}1))$. Ce noyau de transition est choisi tel que l'échantillon converge vers la distribution a posteriori jointe. Il est donc nécessaire d'être suffisamment loin dans la chaîne pour que les valeurs générées soient dans la distribution stationnaire. L'échantillon généré dans cette distribution doit être suffisamment grand pour bien refléter la distribution.

4 RÉSULTATS

4.1 SITUATION ACTUELLE DE LA MÉTAPOPULATION

4.1.1 Paramètres et effectifs totaux

Les paramètres sont en majorité bien mis à jour (l'écart-type a posteriori est bien inférieur à l'écart-type a priori, Table 5). La distribution a posteriori du paramètre ψ est très proche de sa distribution a priori. L'information apportée par les données ne permet donc pas d'estimer ce paramètre.

Table 5. Résumé des statistiques des distributions marginales a posteriori des paramètres du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

Paramètre	Moyenne	SD	5 %	50 %	95 %	SD a priori
β	81,96	8,72	68,29	81,50	96,91	10
μ_γ (1)	-7,07	0,20	-7,40	-7,07	-6,76	10
μ_γ(2)	5,36	0,14	-5,58	-5,36	-5,12	10
μ_R	8,81	0,15	8,58	8,81	9,03	10
μ_{UP}	11,77	0,15	11,52	11,77	12,01	10
φ	-0,42	0,11	-0,61	-0,42	-0,24	10
ψ	0,49	0,21	0,15	0,48	0,84	0,22
ρ	0,61	0,23	0,19	0,64	0,95	0,58
σ_α	1,47	0,30	1,04	1,44	2,01	2,45
σ_γ	0,40	0,12	0,24	0,39	0,61	2,45
σ_q	0,65	0,04	0,58	0,65	0,72	2,45
σ_R	0,31	0,17	0,15	0,27	0,61	2,45
σ_{SR}	0,28	0,06	0,20	0,27	0,38	2,45
σ_{UP}	0,72	0,11	0,56	0,70	0,93	2,45
$\frac{1}{S_{max}}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$1,07 \times 10^{-4}$	$1,30 \times 10^{-4}$	$2,75 \times 10^{-4}$	$4,77 \times 10^{-4}$	1
t	1,05	0,52	0,37	0,99	1,98	1,73
exp(t)	3,31	2,19	1,45	2,70	7,24	

Note : SD : écart-type (Standard Deviation) ; X % : $X^{ème}$ percentile.

Le paramètre ρ est strictement supérieur à 0 (la valeur 0 n'est pas comprise dans l'intervalle de crédibilité Bayésien à 90 %, Table 5), ce qui confirme l'auto-corrélation positive d'ordre 1 de la variabilité interannuelle du recrutement. La Figure 5 montre globalement une diminution de $\varepsilon(t)$ de 1990 à 2005 puis un retour autour de 0 de 2006 à 2012.

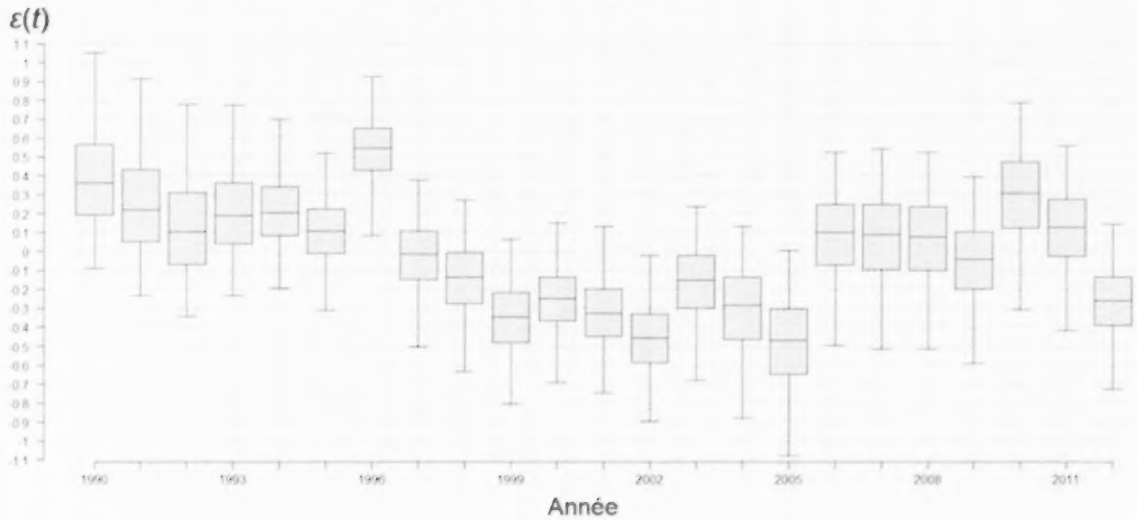


Figure 5. Résumé des distributions marginales a posteriori des résidus ($\varepsilon(t)$) du modèle stock-recrutement de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec) de 1990 à 2012. Les box-plots représentent les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions.

Le paramètre β reste très incertain mais sa moyenne a posteriori est très différente de sa moyenne a priori (Table 5). Ce paramètre s'interprète comme un paramètre de précision de la distribution de Dirichlet. La valeur élevée de β nous indique que la variabilité interannuelle des probabilités $p(t,i)$ est faible (Annexes). Les surfaces (en unité de production) des rivières Petite rivière de la Chaloupe, Maccan, Ruisseau Martin et Du Brick sont estimées en moyenne à 106 134 (écart-type : 40 026), 115 434 (écart-type : 45 763), 91 115 (écart-type : 33 584) et 81 743 (écart-type : 29 824) respectivement.

Sur l'ensemble de la période d'étude, l'effectif annuel d'adultes varie en moyenne entre 2 148, pour l'année 2005, et 7 979, pour l'année 1986 (Figure 6). A partir du milieu des années 80, le nombre d'adultes a diminué jusqu'en 2005 puis a augmenté en 2006 jusqu'à 3 746 individus. Depuis, les effectifs varient autour de 3 500 individus. En 2012, le nombre de retours d'adultes est égal en moyenne à 2 804 (écart-type : 260, Figure 6).

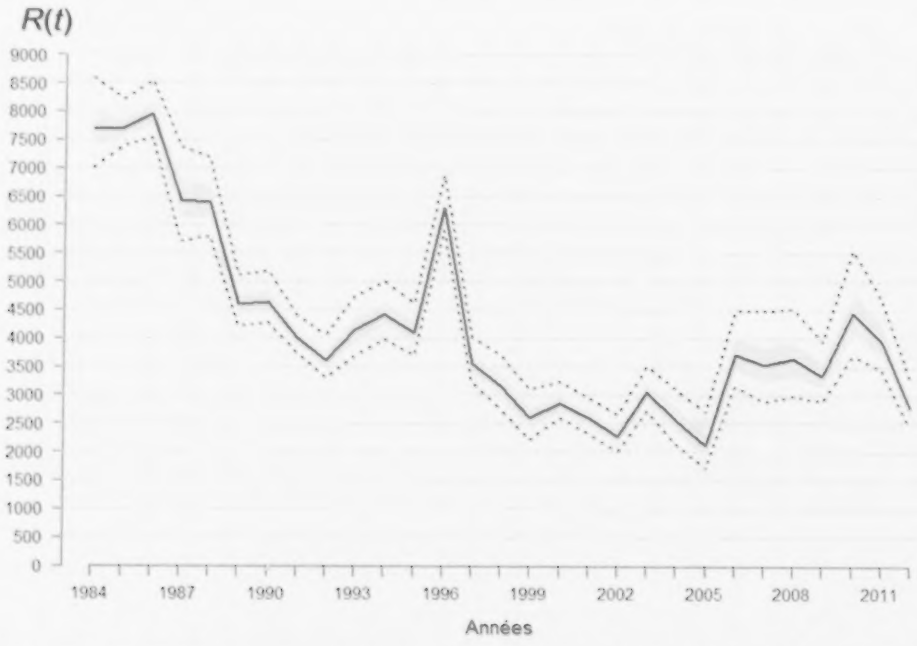


Figure 6. Résumé des distributions marginales a posteriori du nombre total annuel d'adultes de 1984 à 2012. La ligne continue en gras représente la médiane, la zone en gris représente les percentiles 25 et 75 et les lignes en pointillés gras représentent les percentiles 5 et 95 des distributions.

4.1.2 Relation stock-recrutement et points de référence

Le paramètre t est strictement supérieur à 0 (la valeur 0 n'est pas comprise dans l'intervalle de crédibilité Bayésien à 90 %, Table 5). La pente à l'origine de la relation stock-recrutement (exp(t)) est donc strictement supérieure à 1 (Table 5 et Figure 7), ce qui signifie que la population est viable (pour des faibles valeurs du stock, le nombre de recrues par géniteur est supérieur à 1). La capacité d'accueil, R_{max}, est en moyenne de 4 083 individus (médiane : 3 878 et intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [2 647, 6 760]).

Le nombre de capture maximum soutenable (C_{MSY}) est en moyenne de 1 614 individus mais l'incertitude sur cette valeur est très importante (écart-type : 1 646 et intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [261, 4 213], Figure 7). La LC (S_{MSY}) est mieux estimée avec une moyenne de 1 566 individus, un écart-type de 453 et un intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % égal à [997, 2 098]. Actuellement, le nombre de reproducteurs requis chaque année est de 2 525, ce qui est nettement supérieur à S_{MSY} (Figure 7).

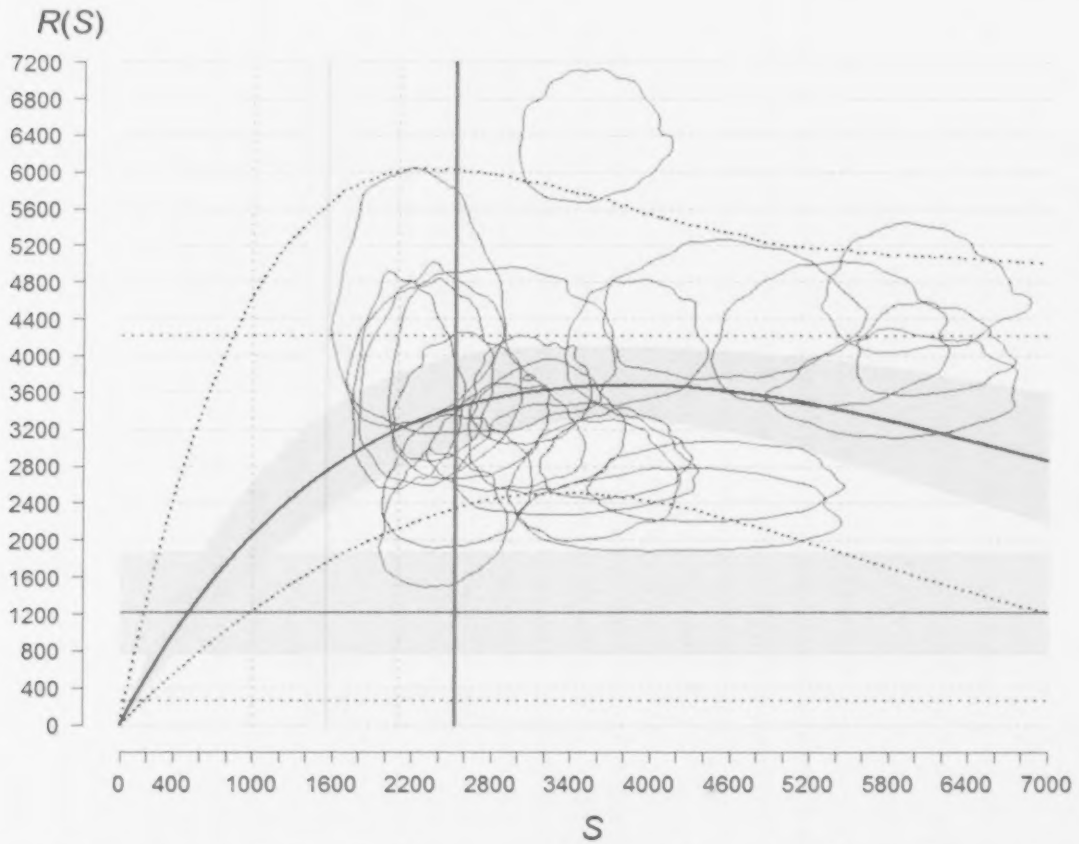


Figure 7. Résumé des estimations de la courbe stock-recrutement (bleu), des points de référence (C_{MSY} en vert et S_{MSY} en jaune) et des probabilités jointes du stock et du recrutement de 1984 à 2012 (courbes noires). Les patatoïdes englobent 95 % des valeurs de l'échantillon MCMC de la distribution jointe a posteriori du stock et du recrutement. Les lignes continues bleue, verte et orange représentent les médianes, les zones colorées représentent les percentiles 25 et 75 et les lignes en pointillés représentent les percentiles 5 et 95 des distributions marginales a posteriori. La ligne continue rouge représente le nombre de reproducteur requis chaque année (2 525 reproducteurs) dans le cadre actuel de la gestion de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

La probabilité que le stock de géniteurs produisant les retours d'adultes de 1990 à 2017 soit supérieur ou égal à S_{MSY} est comprise entre 0,95 et 1 (Figures 7 et 8).

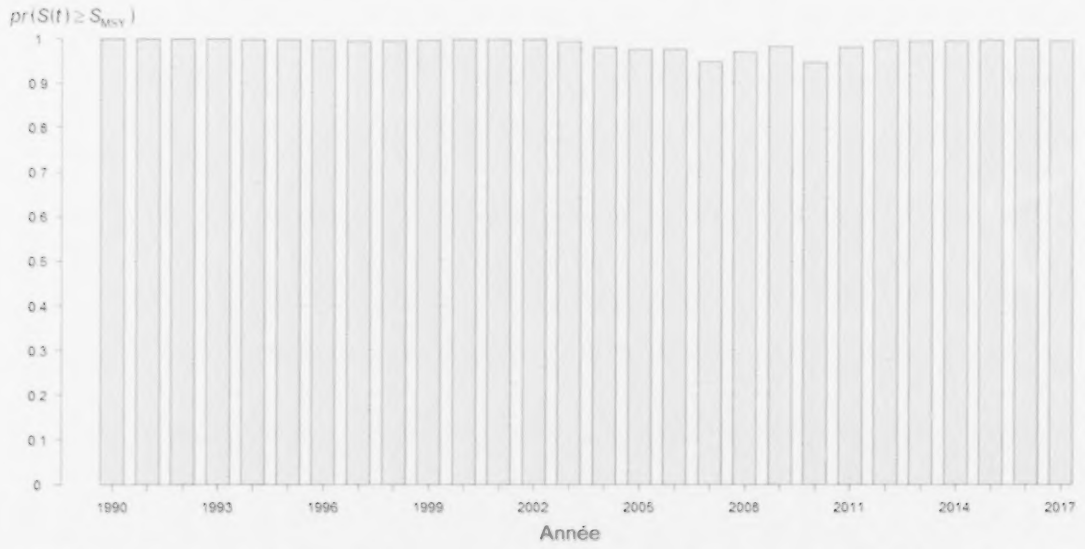


Figure 8. Probabilité que le stock de géniteurs, $S(t)$, produisant les retours d'adultes de l'année t = 1990 à l'année t = 2017, soit supérieur ou égal à la limite de conservation S_{MSY}.

4.1.3 Comparaison avec la limite de conservation actuelle

Actuellement, la gestion de la métapopulation est basée sur une quantité d'œufs requise chaque année pour 21 des 25 rivières de l'île (cf. section 3.3.4.). Au total, 6 837 598 œufs sont requis chaque année. En moyenne, la quantité d'œufs déposés a varié entre 3,22 x 10^6 en 2002 et 18,31 x 10^6 en 1984. En 2012, 5,15 x 10^6 œufs ont été déposés en moyenne (Figure 9).

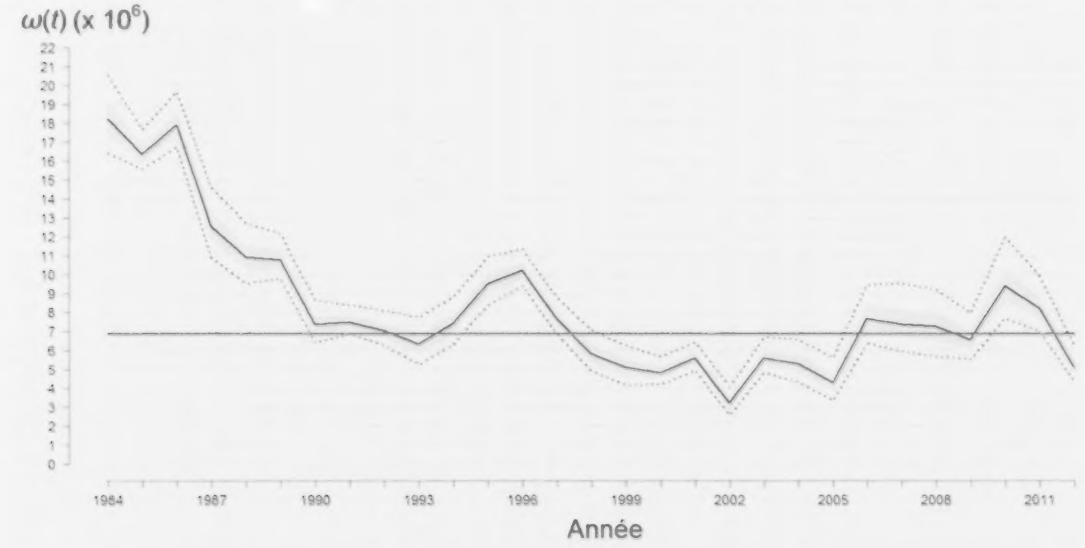


Figure 9. Résumé des distributions marginales a posteriori du nombre total annuel d'œufs déposés de 1984 à 2012. La ligne continue en gras représente la médiane, la zone en gris représente les percentiles 25 et 75 et les lignes en pointillés gras représentent les percentiles 5 et 95 des distributions. La ligne continue rouge représente le nombre d'œufs requis chaque année (6 837 598 œufs) dans le cadre actuel de la gestion de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

De 1984 à 2012, la probabilité que le nombre d'œufs déposés soit supérieur ou égal au nombre d'œufs requis est comprise entre 0 (en 2002) et 1 (de 1984 à 1989, en 1995 et en 1996 ; Figures 9 et 10). Pour 11 années, cette probabilité est inférieure à 0,5.

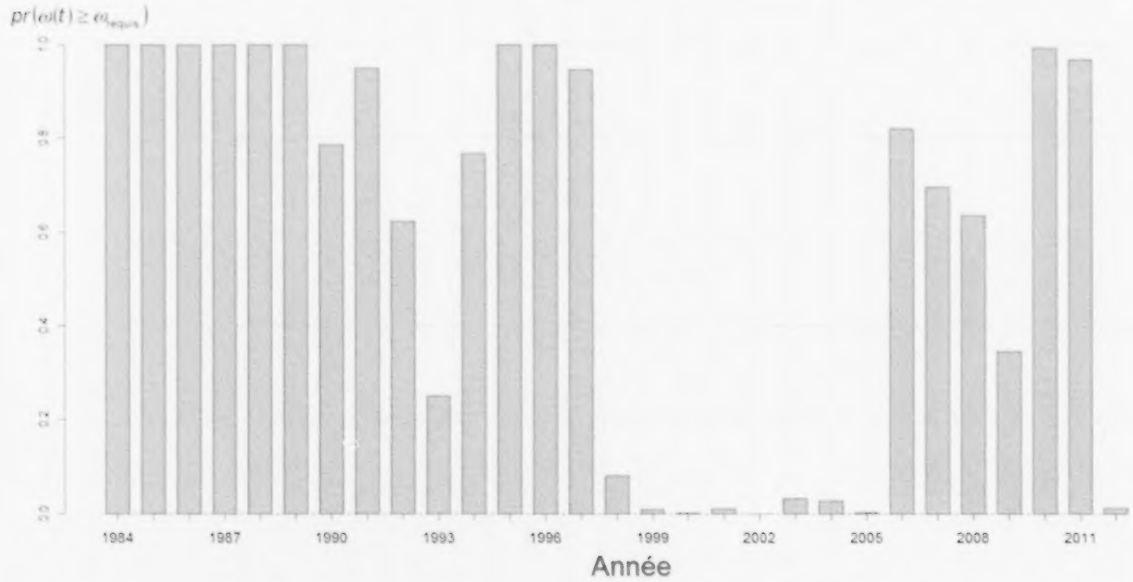


Figure 10. Probabilité que le nombre total d'œufs déposés l'année t, $\omega(t)$, de 1984 à 2012, soit supérieur ou égal au nombre d'œufs requis pour la gestion actuelle de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec).

4.2 EVOLUTION FUTURE DE LA POPULATION, DE 2013 À 2027

4.2.1 Paramètres de la dynamique de renouvellement et points de référence

La Table 6 résume les estimations des paramètres de la dynamique de renouvellement de la métapopulation ainsi que des points de référence, sous les 3 hypothèses **A**, **B** et **C**. Dans tous les cas, la capacité d'accueil (R_{max}), et le nombre total de captures maximum soutenable, (C_{MSY}), restent très incertains. Sous l'hypothèse **C**, la valeur 1 n'est toujours pas comprise dans l'intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % de la pente à l'origine (0,75 exp(t)).

Table 6. Résumé des statistiques des distributions marginales a posteriori des paramètres du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec) et des points de référence, sous 3 hypothèses de taux de survie et de capacité d'accueil de la métapopulation.

Paramètre	Moyenne	SD	5 %	50 %	95 %
Hypothèse **A** : pas de modification de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Relation stock-recrutement					
R_{max}	4 083	8 900	2 647	3 878	6 760
$\frac{1}{S_{max}}$	$2{,}87 \times 10^{-4}$	$1{,}07 \times 10^{-4}$	$1{,}30 \times 10^{-4}$	$2{,}75 \times 10^{-4}$	$4{,}77 \times 10^{-4}$
S_{max}	4 178	3 637	2 095	3 627	7 560
τ	1,05	0,52	0,37	0,99	1,98
$\exp(\tau)$	3,31	2,19	1,45	2,70	7,24
R_{rep}	4 529	94 703*	2 176	3 677	5 173
Points de référence					
C_{MSY}	1 614	1 646	261	1 210	4 213
S_{MSY}	1 566	453	997	1 561	2 098
R_{MSY}	3 180	1 857	1 354	2 842	6 045
Hypothèse **B** : augmentation de 25 % de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Relation stock-recrutement					
$R_{max}^{+25\%}$	5 103	11 125	3 308	4 847	8 450
$\frac{1}{S_{max}}$	$2{,}87 \times 10^{-4}$	$1{,}07 \times 10^{-4}$	$1{,}30 \times 10^{-4}$	$2{,}75 \times 10^{-4}$	$4{,}77 \times 10^{-4}$
S_{max}	4 178	3 637	2 095	3 627	7 560
$\log(1.25)+\tau$	1,28	0,52	0,59	1,22	2,20
$1.25\exp(\tau)$	4,14	2,74	1,81	3,37	9,05
R_{rep}	5 265	77 692*	3 109	4 525	6 282
Points de référence					
$C_{MSY}^{+25\%}$	2 449	2 089	702	1 959	5 727
$S_{MSY}^{+25\%}$	1 896	543	1 297	1 851	2 622
$R_{MSY}^{+25\%}$	4 345	2 239	2 263	3 928	7 744
Hypothèse **C** : diminution de 25 % de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Relation stock-recrutement					
$R_{max}^{-25\%}$	3 062	6 675	1 985	2 908	5 070
$\frac{1}{S_{max}}$	$2{,}87 \times 10^{-4}$	$1{,}07 \times 10^{-4}$	$1{,}30 \times 10^{-4}$	$2{,}75 \times 10^{-4}$	$4{,}77 \times 10^{-4}$
S_{max}	4 178	3 637	2 095	3 627	7 560
$\log(0.75)+\tau$	0,77	0,52	0,08	0,70	1,69
$0.75\exp(\tau)$	2,48	1,64	1,08	2,02	5,43

R_{rep}	3 579	116 692*	568	2 594	4 151
Points de référence					
$C_{\frac{-25\,\%}{MSY}}$	877	1 181	12	556	2 739
$S_{\frac{-25\,\%}{MSY}}$	1 118	435	264	1 158	1 648
$R_{\frac{-25\,\%}{MSY}}$	1 995	1 483	278	1 749	4 314

Note : SD : écart-type (Standard Deviation) ; X % : X^{ème} percentile ; * : l'asymétrie de la distribution et le fort écart-type pour R_{rep} sont dus à quelques très fortes valeurs de R_{rep} dans l'échantillon, il est donc plus judicieux de se référer aux percentiles.

4.2.2 Effectifs et situation par rapport aux points de référence

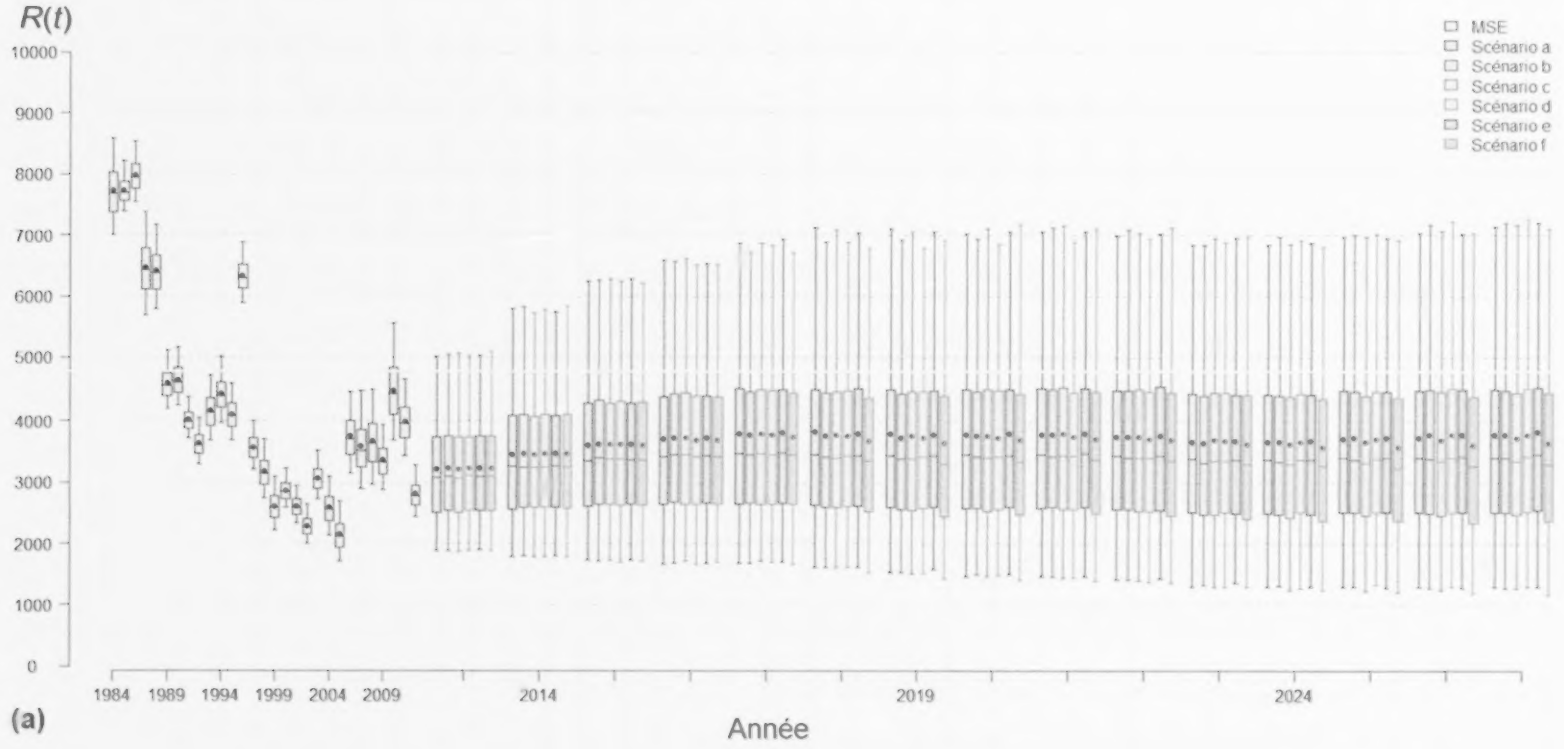
Pour chaque hypothèse **A**, **B** ou **C** testée, les prédictions pour les retours d'adultes sont similaires de 2013 à 2027, quel que soit le scénario de gestion envisagé (Table 7 et Figure 11). Logiquement, lorsque la survie et la capacité d'accueil augmentent, les retours moyens augmentent. Sous l'hypothèse **B**, les prédictions pour les retours totaux d'adultes sont en moyenne supérieures d'environ 870 individus par rapport à l'hypothèse **A**. Sous l'hypothèse **C**, elles sont en moyenne inférieures d'environ 990 individus par rapport à l'hypothèse A.

Table 7. Résumé des statistiques de la distribution marginale a posteriori de la moyenne des prédictions pour les retours d'adultes de 2013 à 2027, ($\sum_{t=2013\text{ à }2027} R(t)$) /15.

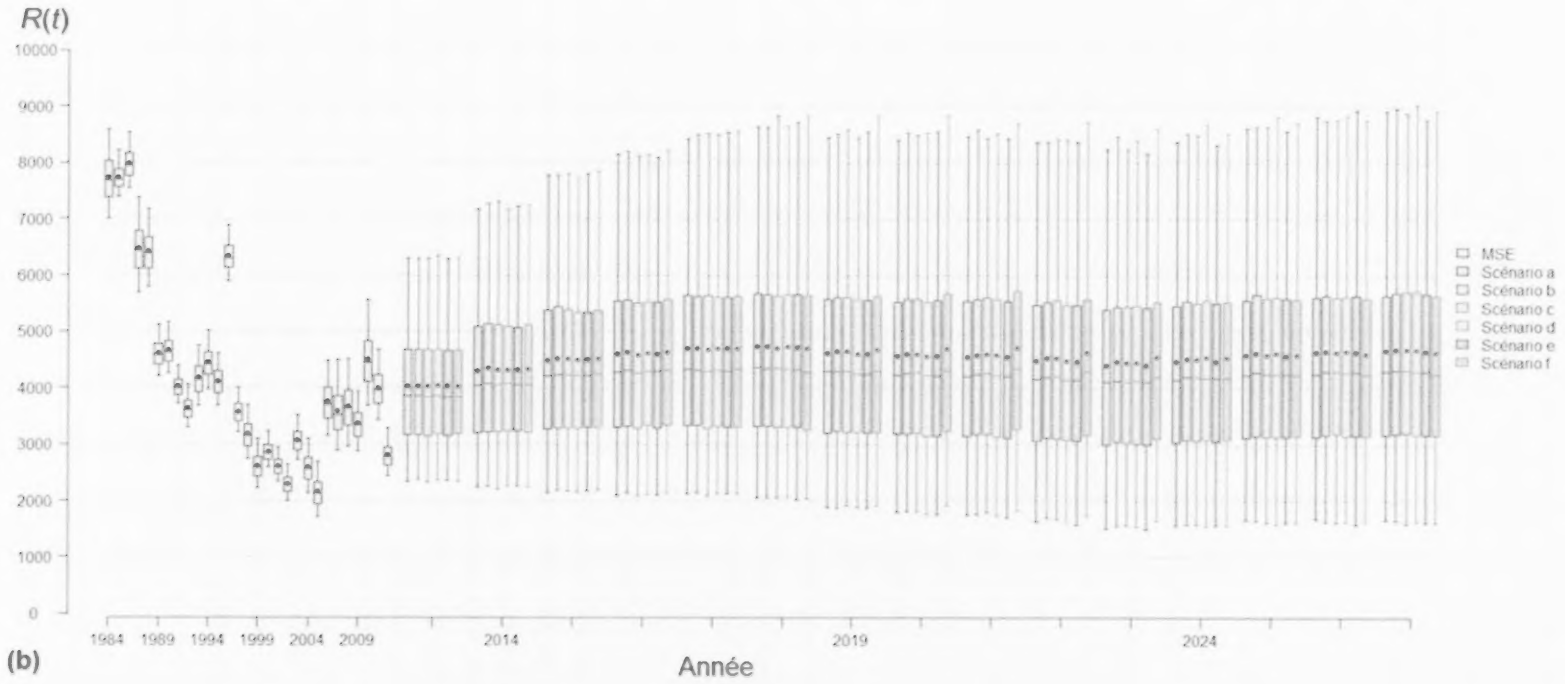
	Moyenne	SD	5 %	50 %	95 %
Hypothèse A : pas de modification de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Scénario **a**	3 674	1 122	2 054	3 610	5 356
Scénario **b**	3 670	1 184	2 037	3 603	5 404
Scénario **c**	3 663	1 180	2 018	3 585	5 455
Scénario **d**	3 663	1 068	2 057	3 617	5 348
Scénario **e**	3 688	1 397	2 075	3 628	5 363
Scénario **f**	3 604	1 111	1 931	3 538	5 496
Hypothèse B : augmentation de 25 % de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Scénario **a**	4 513	1 139	2 699	4 476	6 401
Scénario **b**	4 545	1 157	2 700	4 509	6 473
Scénario **c**	4 533	1 199	2 603	4 514	6 471
Scénario **d**	4 534	1 162	2 748	4 485	6 441
Scénario **e**	4 510	1 139	2 661	4 486	6 396
Scénario **f**	4 565	1 259	2 598	4 524	6 708
Hypothèse C : diminution de 25 % de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Scénario **a**	2 701	923	1 396	2 612	4 278
Scénario **b**	2 685	984	1 375	2 581	4 239
Scénario **c**	2 663	961	1 350	2 553	4 296
Scénario **d**	2 703	989	1 408	2 615	4 248

Scénario **e**	2 695	946	1 395	2 611	4 208
Scénario **f**	2 594	962	1 284	2 466	4 332

Note : SD : écart-type (Standard Deviation) ; X % : X^{ème} percentile.


R(t)
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
1984
1989
1994
1999
2004
2009
2014
2019
2024
Année
MSE
Scénario a
Scénario b
Scénario c
Scénario d
Scénario e
Scénario f

(a)


R(t)
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
1984
1989
1994
1999
2004
2009
2014
2019
2024
Année
MSE
Scénario a
Scénario b
Scénario c
Scénario d
Scénario e
Scénario f

(b)

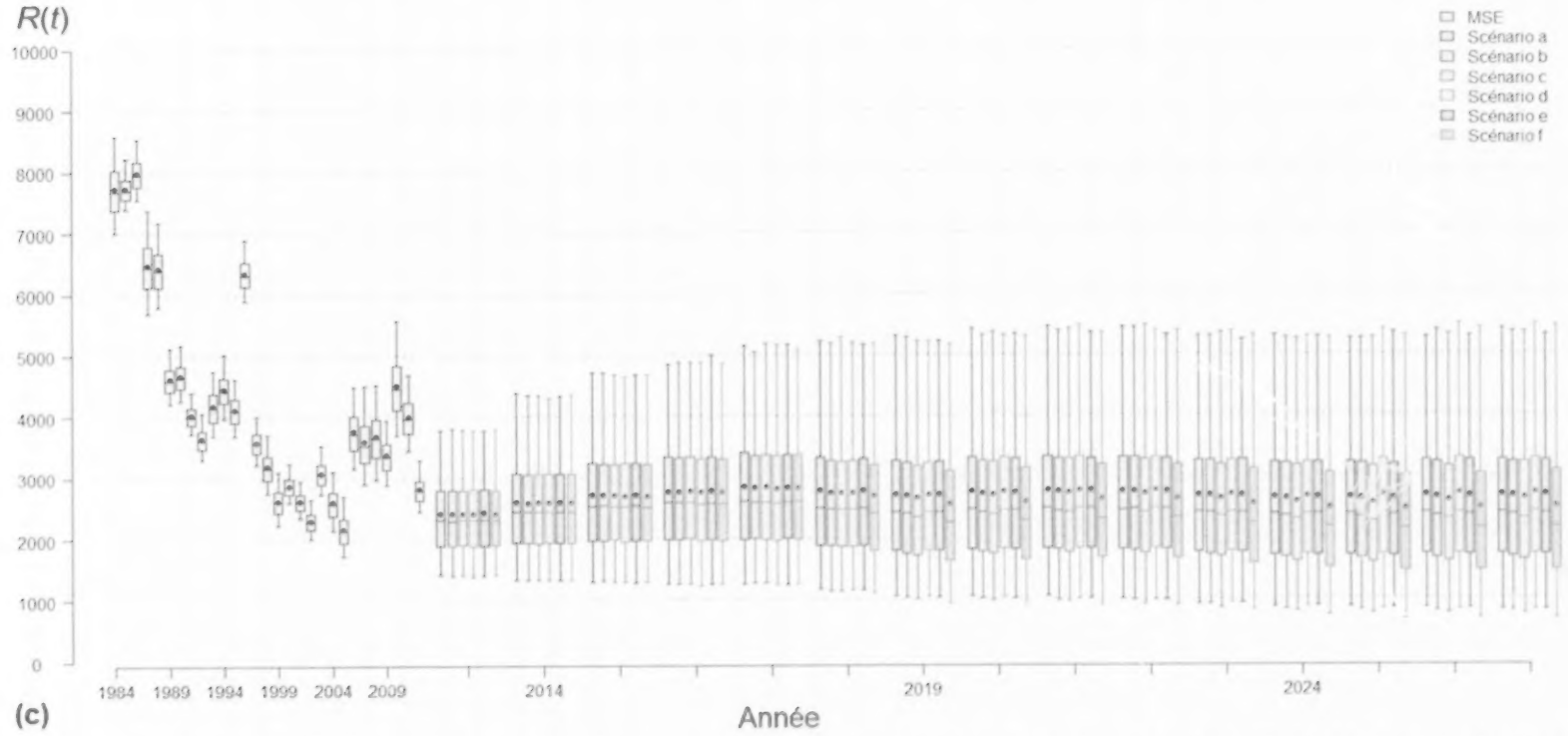


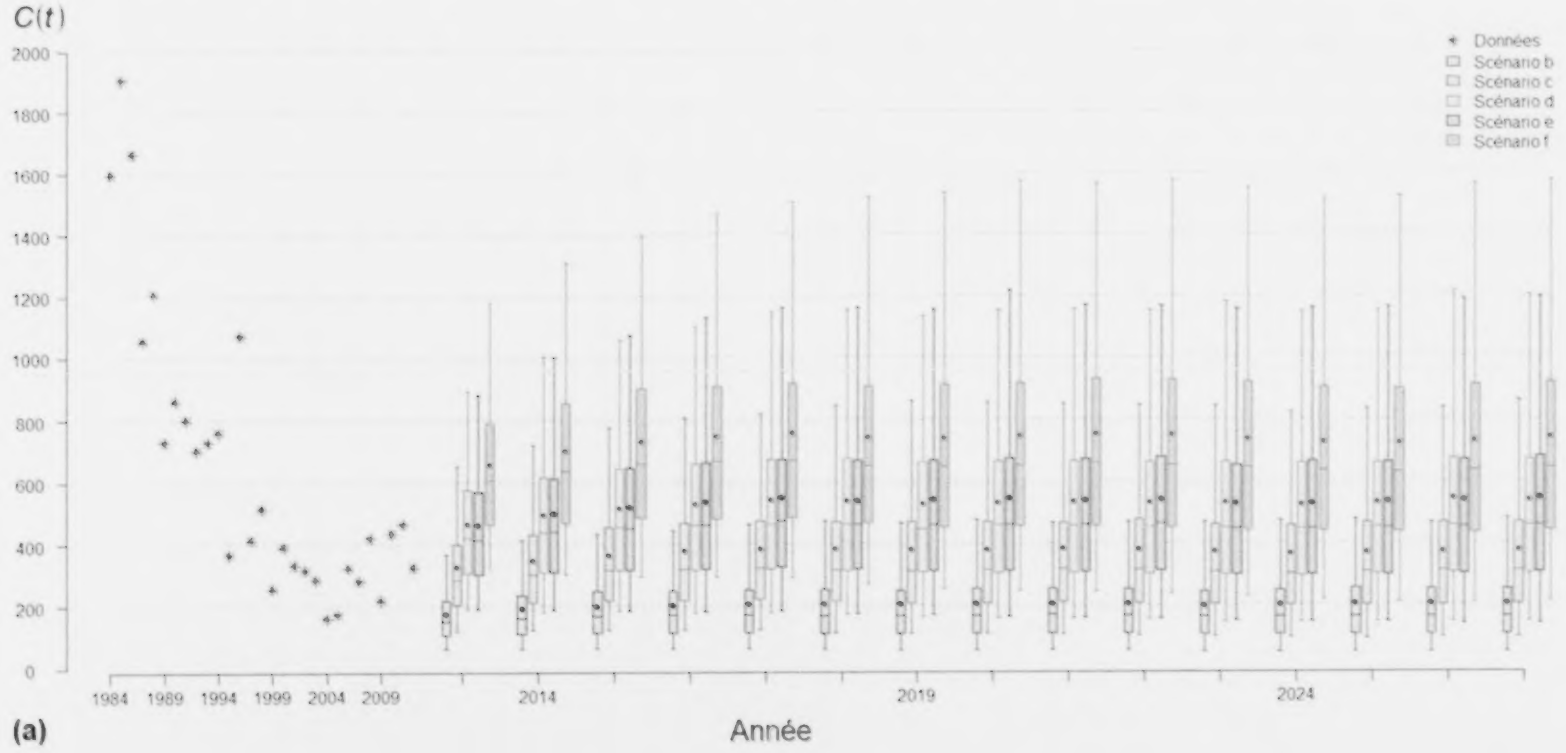
Figure 11. Résumé des distributions marginales a posteriori des estimations, de 1984 à 2012, et des prédictions, de 2013 à 2027, du nombre total annuel d'adultes. Les prédictions sont réalisées sous différents scénarios de gestion de la pêche sportive et (a) avec les valeurs actuelles des paramètres de la dynamique de renouvellement de la métapopulation ; (b) sous l'hypothèse d'une augmentation de la survie et de la capacité d'accueil de 25 % ; (c) et sous l'hypothèse d'une diminution de la survie et de la capacité d'accueil de 25 %. Le lecteur peut se référer à la Table 4 pour plus d'information concernant les scénarios de gestion. Les box-plots représentent les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions. Les points représentent les moyennes des distributions. MSE : Modèle Stochastique d'Etats.

Les captures d'adultes par la pêche sportive diffèrent selon le scénario de gestion envisagé et entre les différentes hypothèses de productivité testées (Table 8 et Figure 12). Logiquement, l'ordre des scénarios de gestion, classés par ordre croissant du nombre de captures, est : **a** (pas de capture), **b**, **c**, **d** et **e** (nombre de captures similaire) et enfin **f**. Cependant, il est important de noter que les scénarios **d** et **e** permettent un nombre important de captures, relativement aux autres scénarios, mais que seulement 5 % (scénario **d**) et 15 % (scénario **e**) de ces dernières ne participent pas à la reproduction.

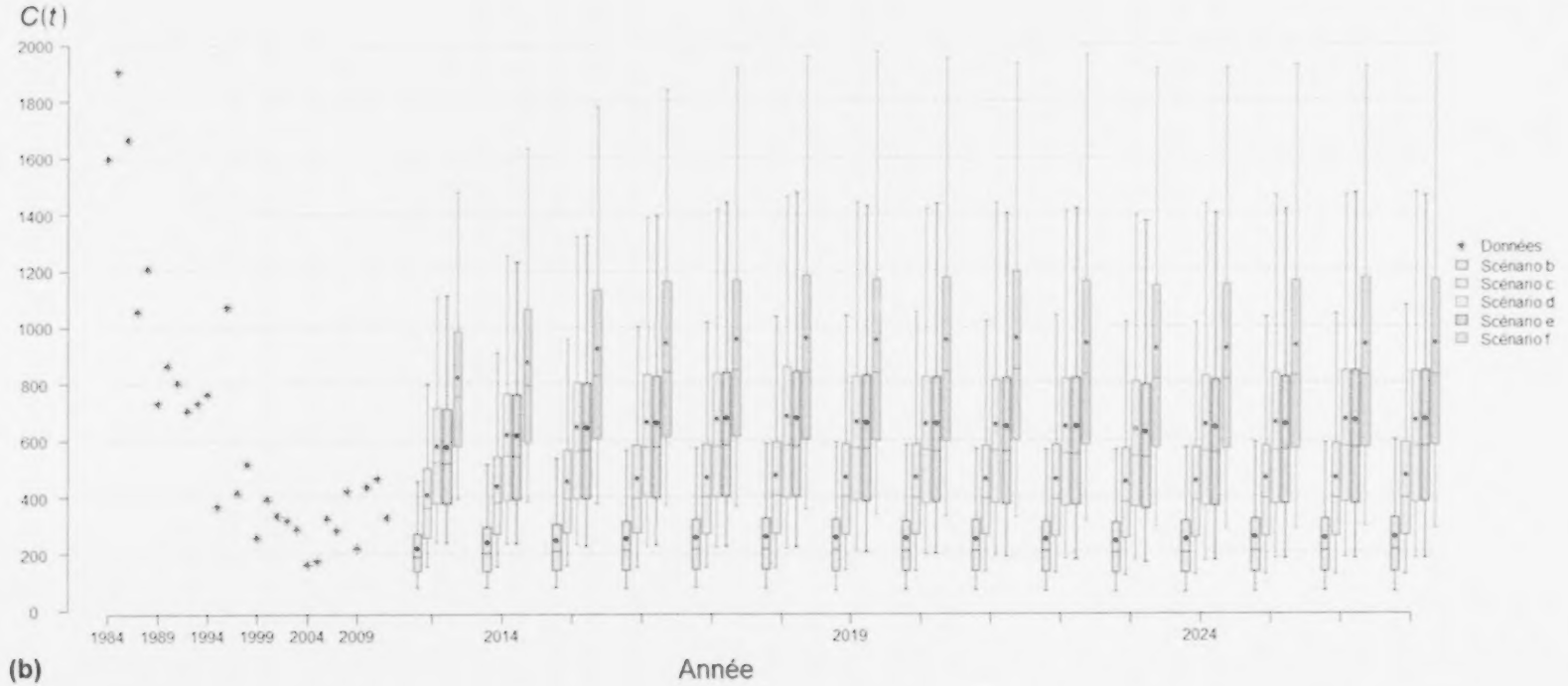
Table 8. Résumé des statistiques de la distribution marginale a posteriori de la moyenne des prédictions pour les captures totales de 2013 à 2027, ($\sum_{t=2013 \text{ à } 2027} C(t)$)/15.

	Moyenne	SD	5 %	50 %	95 %
Hypothèse A : pas de modification de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Scénario **a**	/	/	/	/	/
Scénario **b**	201	73	106	193	316
Scénario **c**	371	131	196	358	585
Scénario **d**	525	166	283	513	797
Scénario **e**	529	199	285	514	803
Scénario **f**	732	235	388	715	1 136
Hypothèse B : augmentation de 25 % de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Scénario **a**	/	/	/	/	/
Scénario **b**	249	76	139	241	381
Scénario **c**	458	139	251	448	694
Scénario **d**	651	185	375	638	967
Scénario **e**	647	183	366	638	961
Scénario **f**	929	273	513	912	1 402
Hypothèse C : diminution de 25 % de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Scénario **a**	/	/	/	/	/
Scénario **b**	147	59	71	139	245
Scénario **c**	269	104	132	255	448
Scénario **d**	388	157	194	371	631
Scénario **e**	387	147	192	370	622
Scénario **f**	526	200	258	499	890

Note : SD : écart-type (Standard Deviation) ; X % : $X^{ème}$ percentile.


C(t)
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
1984
1989
1994
1999
2004
2009
2014
2019
2024
Année
Données
Scénario b
Scénario c
Scénario d
Scénario e
Scénario f

(a)


C(t)
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
1984
1989
1994
1999
2004
2009
2014
2019
2024
Année
Données
Scénario b
Scénario c
Scénario d
Scénario e
Scénario f

(b)

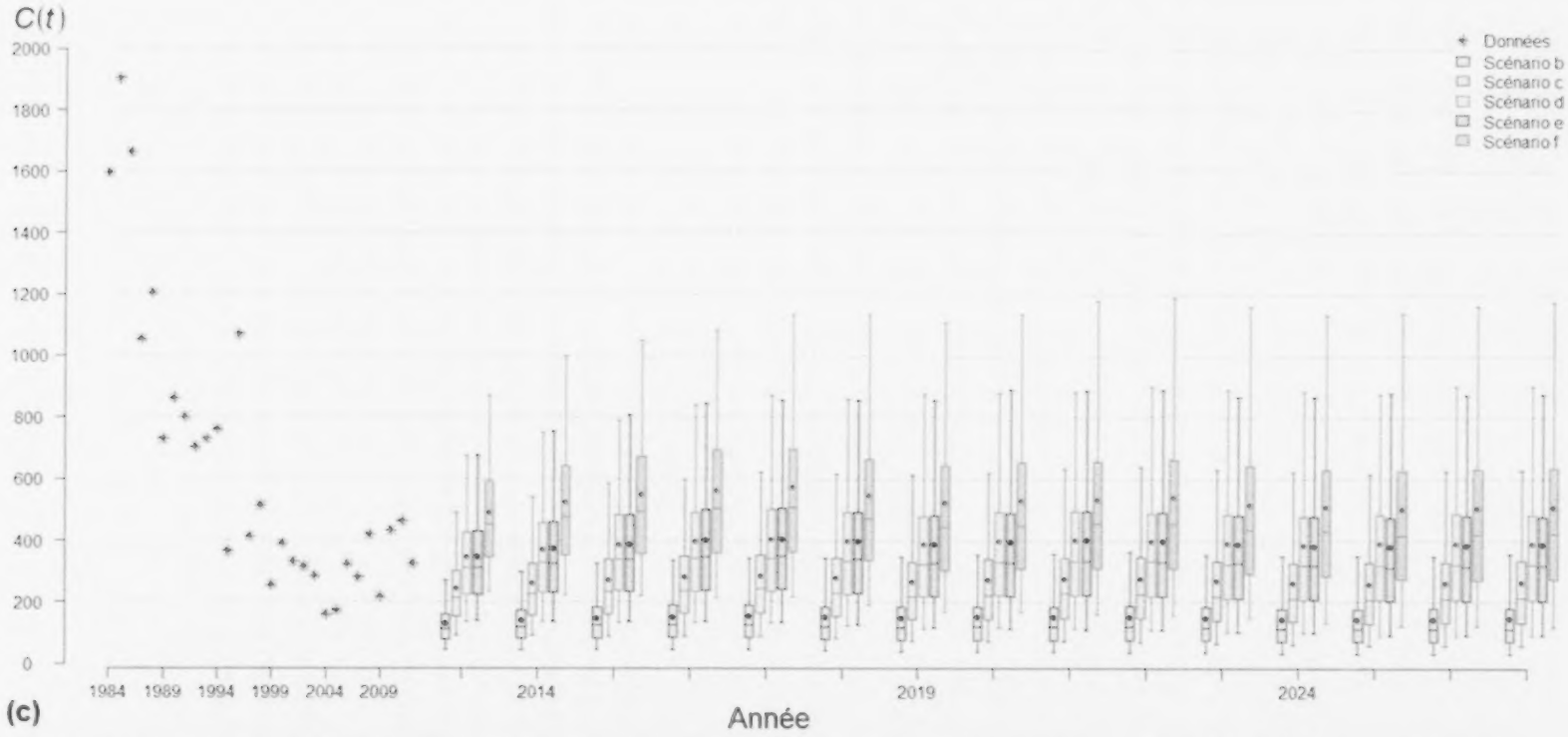


Figure 12. Données, de 1984 à 2012, et résumé des distributions marginales a posteriori des prédictions, de 2013 à 2027, du nombre total de captures par la pêche sportive. Les prédictions sont réalisées sous différents scénarios de gestion de la pêche sportive et (a) avec les valeurs actuelles des paramètres de la dynamique de renouvellement de la métapopulation; (b) sous l'hypothèse d'une augmentation de la survie et de la capacité d'accueil de 25 %; (c) et sous l'hypothèse d'une diminution de la survie et de la capacité d'accueil de 25 %. Le lecteur peut se référer à la Table 4 pour plus d'information concernant les scénarios de gestion. Les box-plots représentent les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions. Les points représentent les moyennes des distributions.

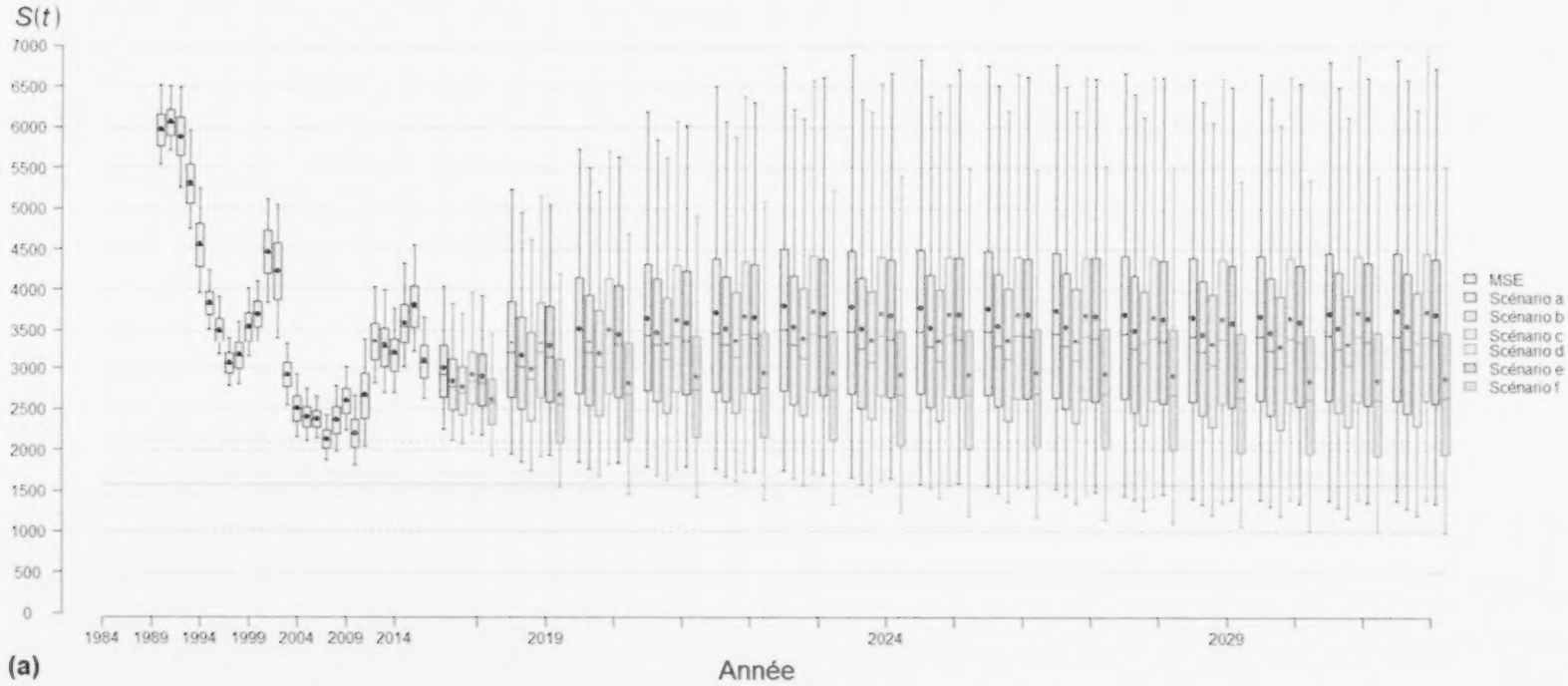
Par conséquence, le stock de géniteurs produisant les retours d'adultes de 2018 à 2032 diffère également selon le scénario de gestion envisagé et l'hypothèse de productivité testée (Table 9 et Figure 13). Pour chaque hypothèse de productivité testée, l'ordre des scénarios de gestion, classés par ordre croissant du nombre de géniteurs, est : **f**, **c**, **b**, **e**, **d** et **a**.

La probabilité que le stock de géniteurs soit inférieur à la LC diminue au cours du temps mais reste très élevée et varie que très légèrement entre les différents scénarios de gestion et les différentes hypothèses de productivité (Figure 14). La probabilité la plus faible est de 0,85 et concerne la dernière année pour le scénario de gestion **f** et sous l'hypothèse d'une diminution de la survie et de la capacité d'accueil de 25 %.

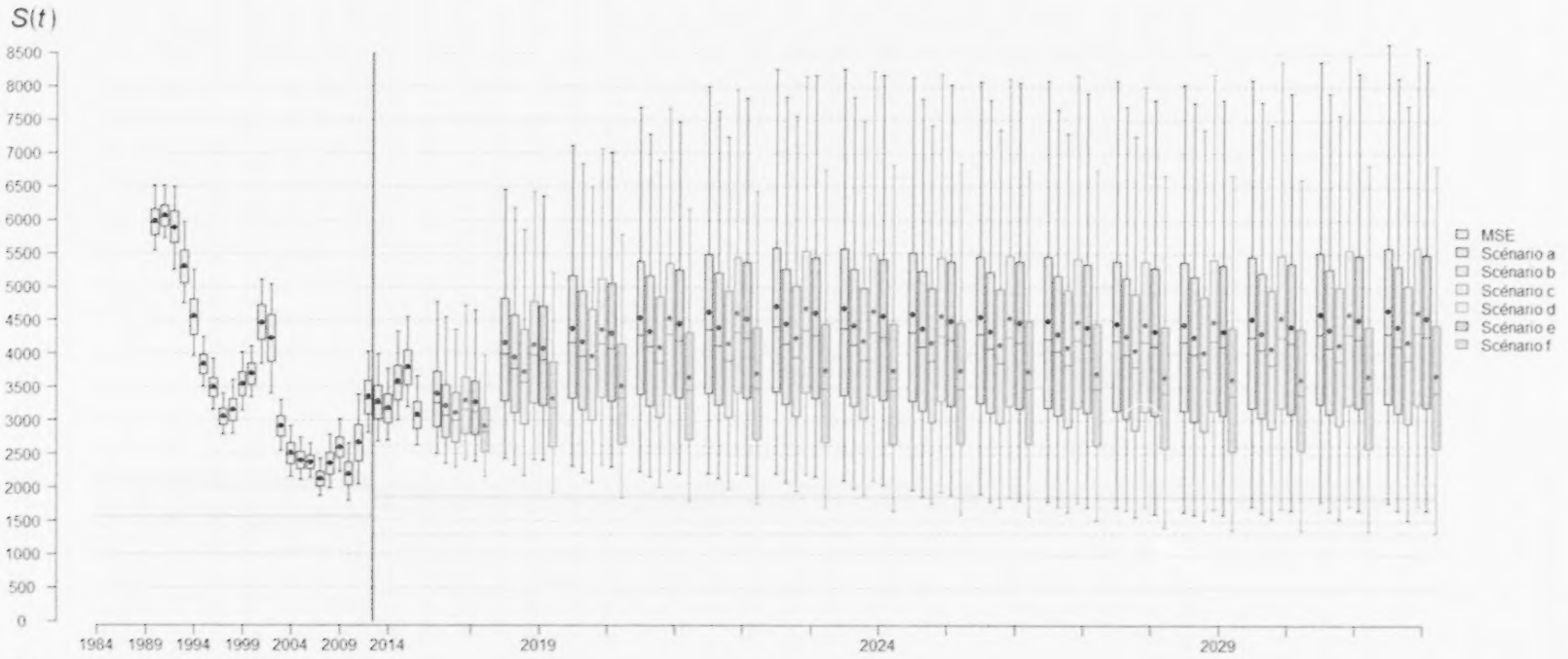
Table 9. Résumé des statistiques de la distribution marginale a posteriori de la moyenne des prédictions pour le stock de géniteurs produisant les retours de 2018 à 2032, $(\sum_{t=2018 \text{ à } 2032} S(t))/15$.

	Moyenne	SD	5 %	50 %	95 %
Hypothèse A : pas de modification de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Scénario **a**	3 641	1 062	2 085	3 581	5 278
Scénario **b**	3 438	1 047	1 950	3 374	5 042
Scénario **c**	3 269	1 026	1 843	3 200	4 834
Scénario **d**	3 599	1 023	2 057	3 550	5 208
Scénario **e**	3 570	1 197	2 058	3 515	5 148
Scénario **f**	2 863	859	1 574	2 809	4 337
Hypothèse B : augmentation de 25 % de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Scénario **a**	4 450	1 099	2 705	4 410	6 265
Scénario **b**	4 236	1 058	2 548	4 203	6 009
Scénario **c**	4 022	1 044	2 350	4 004	5 696
Scénario **d**	4 434	1 115	2 720	4 387	6 262
Scénario **e**	4 349	1 077	2 601	4 329	6 106
Scénario **f**	3 601	973	2 078	3 569	5 258
Hypothèse C : diminution de 25 % de la survie et de la capacité d'accueil en 2013					
Scénario **a**	2 704	888	1 447	2 622	4 222
Scénario **b**	2 542	897	1 350	2 448	3 964
Scénario **c**	2 403	833	1 269	2 309	3 835
Scénario **d**	2 681	945	1 443	2 595	4 148
Scénario **e**	2 637	890	1 414	2 556	4 083
Scénario **f**	2 089	742	1 081	1 989	3 437

Note : SD : écart-type (Standard Deviation) ; X % : $X^{ème}$ percentile.


S(t)
7000
6500
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
1984
1989
1994
1999
2004
2009
2014
2019
2024
2029
Année
MSE
Scénario a
Scénario b
Scénario c
Scénario d
Scénario e
Scénario f

(a)


S(t)
8500
8000
7500
7000
6500
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
1984
1989
1994
1999
2004
2009
2014
2019
2024
2029
Année
MSE
Scénario a
Scénario b
Scénario c
Scénario d
Scénario e
Scénario f

(b)

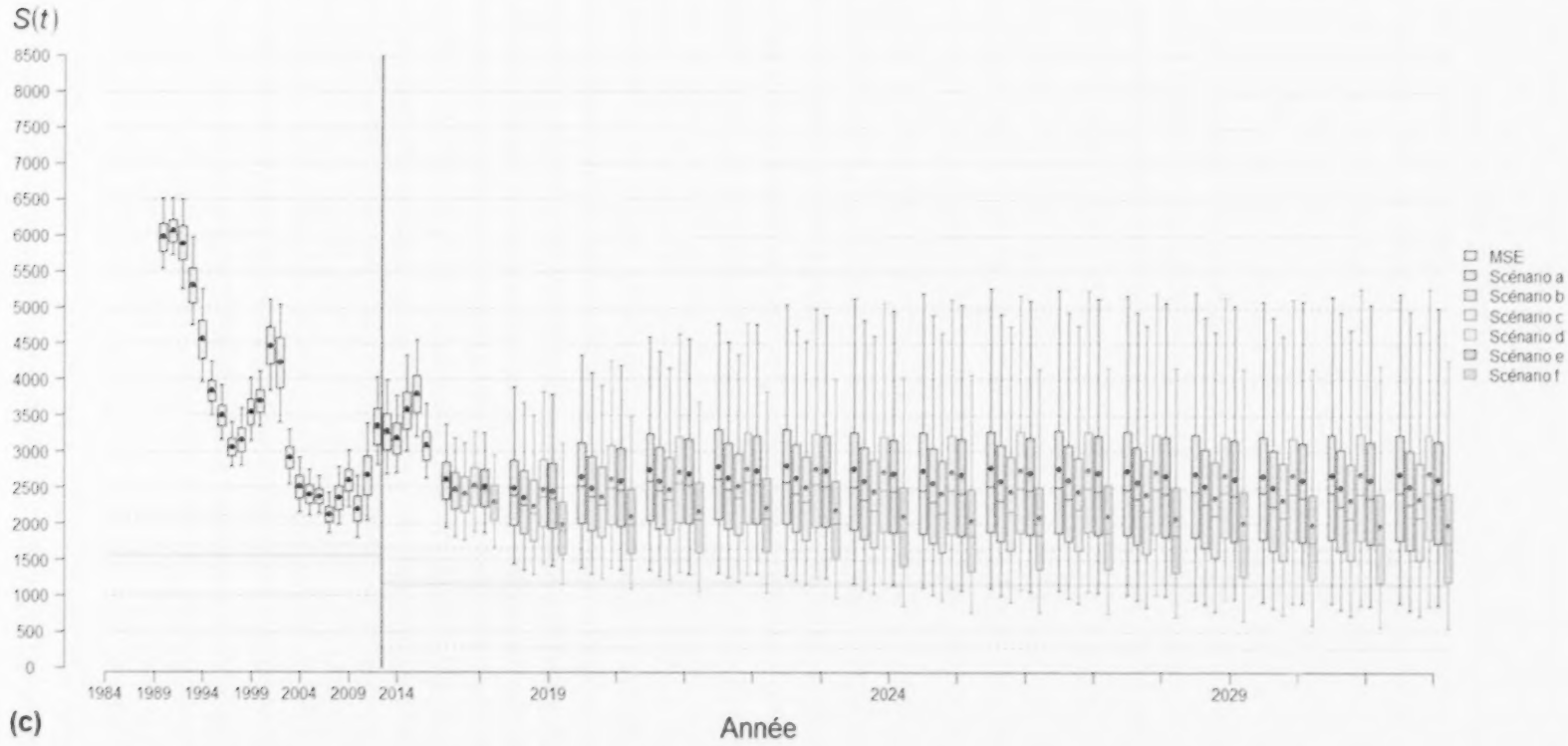


Figure 13. Résumé des distributions marginales a posteriori des estimations, pour t = 1990 à 2017, et des prédictions, pour t = 2018 à 2032, du stock de géniteurs produisant les retours d'adultes l'année t. Les prédictions sont réalisées sous différents scénarios de gestion de la pêche sportive et (a) avec les valeurs actuelles des paramètres de la dynamique de renouvellement de la métapopulation; (b) sous l'hypothèse d'une augmentation de la survie et de la capacité d'accueil de 25 %; (c) et sous l'hypothèse d'une diminution de la survie et de la capacité d'accueil de 25 %. Le lecteur peut se référer à la Table 4 pour plus d'information concernant les scénarios de gestion. Les box-plots représentent les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions. Les points représentent les moyennes des distributions. Les lignes continues orange représentent les médianes des distributions marginales a posteriori des limites de conservation, les zones colorées représentent les percentiles 25 et 75 et les lignes en pointillés représentent les percentiles 5 et 95. MSE : Modèle Stochastique d'Etats.

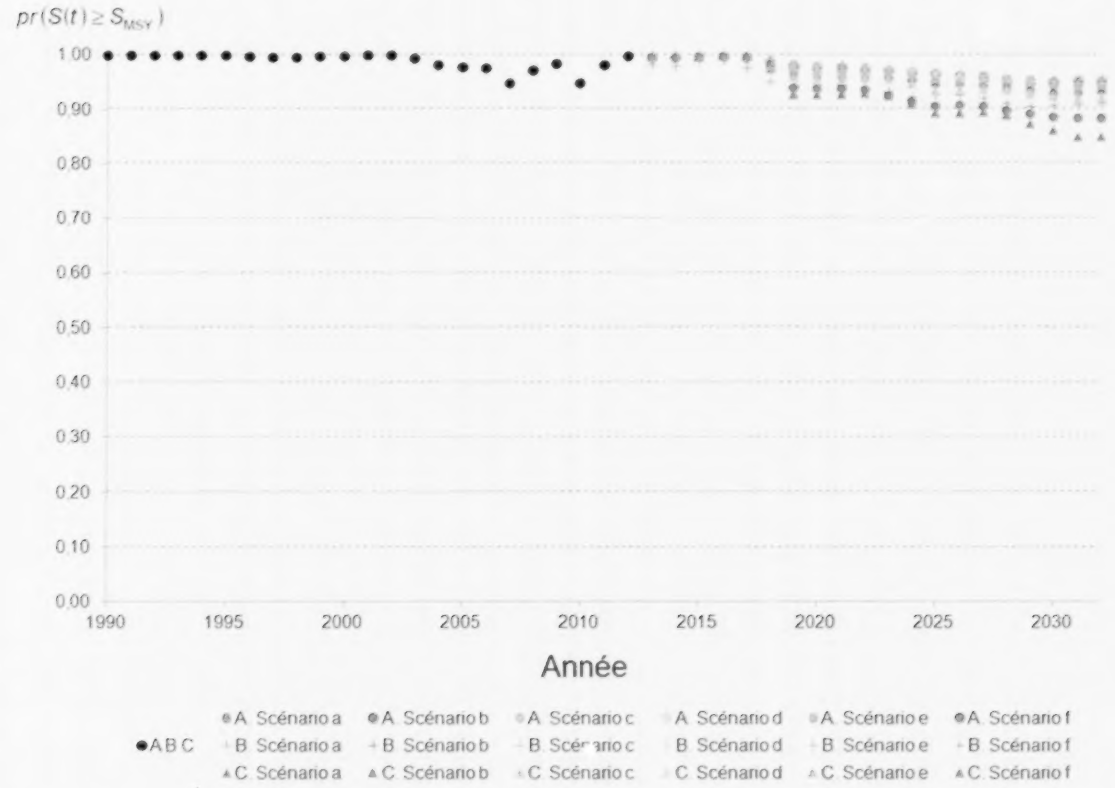


Figure 14. Probabilité que le stock de géniteurs, S(t), produisant les retours d'adultes de l'année t soit supérieur ou égal à la limite de conservation sous différents scénarios de gestion de la pêche sportive et : A. avec les valeurs actuelles des paramètres de la dynamique de renouvellement de la métapopulation ; B. sous l'hypothèse d'une augmentation de la survie et de la capacité d'accueil de 25 % ; et C. sous l'hypothèse d'une diminution de la survie et de la capacité d'accueil de 25 %. Le lecteur peut se référer à la Table 4 pour plus d'information concernant les scénarios de gestion.

5 DISCUSSION ET CONCLUSION

L'introduction du processus dynamique et de l'effet de la surface sur les paramètres α ont permis de réduire l'incertitude sur ces derniers (résultats non montrés) et d'améliorer la convergence de l'échantillon MCMC vers leur distribution a posteriori, par rapport aux résultats de Brun et Prévost (présent rapport, première partie). L'espérance et l'évolution de la probabilité de retour des adultes pour chaque rivière sont données en annexe. L'ajout du processus dynamique a eu tendance à diminuer de quelques centaines d'individus la moyenne a posteriori des retours d'adultes pour les dernières années. De plus, le perfectionnement du modèle de Brun et Prévost (présent rapport, première partie) et l'ajout du processus dynamique a permis une diminution de l'incertitude sur le nombre de retours d'adultes pour l'ensemble des années (Figure 6 et Figure 6 de Brun et Prévost (présent rapport, première partie)). Cependant, cet effet sur la réduction de l'écart-type des distributions a posteriori n'est pas additif pour toutes les années (certaines années, l'ajout du processus dynamique tend à ré-augmenter légèrement l'écart-type par rapport à celui estimé par le modèle de Brun et Prévost (présent rapport, première partie) "perfectionné").

La LC obtenue dans ce travail, S_{MSY}, est nettement inférieure à la LC utilisée actuellement pour la gestion de la métapopulation de saumon atlantique de l'île d'Anticosti, alors qu'elle inclue 4 rivières de plus (Figure 7). Par conséquent, la probabilité que le stock de géniteurs ait été supérieur à la LC est plus importante avec S_{MSY} qu'avec la LC utilisée actuellement (Figures 7 à 10). Cette probabilité montre qu'il y a peu de risque que le stock de géniteurs ait été en dessous de S_{MSY}. Avec la LC utilisée actuellement il est beaucoup plus probable, voir même certain, que le stock ait été inférieur à la LC certaines années. Deux raisons peuvent être à l'origine de cette différence entre les LC. Premièrement, le modèle présenté dans cette étude a permis d'estimer une LC à partir des données propres à cette métapopulation, contrairement à la LC utilisée actuellement et qui est basée sur les données de 6 rivières québécoises. Deuxièmement, les années utilisées pour l'estimation de la LC sont différentes entre les deux études : dans le présent travail, les données de stock et de recrutement utilisées concernent les années de 1990 à 2012 alors que dans l'étude de Fontaine et Caron (1999) la série de données commence au début des années 70 et se termine aux années 1990. Une diminution de la productivité des populations de saumon entre ses deux périodes pourrait expliquer cette différence entre les LC. Nous avons trouvé plus judicieux de comparer l'évolution de la population, passée (à partir du recrutement de 1990) et future, par rapport à la LC estimé à partir des données propres à la métapopulation d'Anticosti et reflétant le régime de productivité actuel de la métapopulation (S_{MSY}).

Malgré une tendance à l'augmentation depuis 2006 (cf. Brun et Prévost (présent rapport, première partie) pour plus de détails sur les tendances de la métapopulation), l'abondance des retours d'adultes diminue à nouveau en 2011 et 2012 (Figure 6). Globalement, la métapopulation oscille autour de 3 500 individus de 2006 à 2012. Il semblerait qu'après la diminution observée entre la fin des années 80 et l'année 2005, les effectifs d'adultes ne tendent pas à augmenter vers les niveaux connus au milieu des années 80. Il est cependant difficile de l'affirmer avec les 6 années d'estimations (2006 à 2012).

Avec les paramètres actuels de la dynamique de renouvellement de la métapopulation, la probabilité que le stock de géniteurs produisant les retours de 1990 à 2017 soit supérieur ou égal à S_{MSY}, $p(S(t) \geq S_{MSY}$ pour t = 1990 à 2017, est comprise entre 0.95 et 1 (Figure 8). Il y a donc au plus 5 % de risque, pour certaines années, que ce stock ait été plus faible que S_{MSY}. Au fur et à mesure que les prédictions avancent dans le temps, l'incertitude sur les grandeurs (i.e. retour d'adultes, capture et stock ; Figures 11 à 13) augmente et par conséquent $p(S(t) \geq S_{MSY}$, pour t = 2018 à 2032, diminue (Figure 14). Cependant, cette probabilité reste très importante quel que soit l'hypothèse sur la productivité de la métapopulation et le régime d'exploitation par la pêche sportive. Il semblerait donc que cette dernière, sous les scénarios testés, ne soit pas en mesure de causer une baisse des effectifs.

A partir de 1990, année à partir de laquelle la relation stock-recrutement est estimée, le patron de la variabilité interannuelle du recrutement (Figure 5) est similaire à celui des effectifs d'adultes (Figure 6), ce qui confirme que la baisse des effectifs est due à autre chose. Parrish et *al.* (1998; et références) passent en revue plusieurs facteurs agissant sur le déclin des populations anadromes de saumon atlantique en Europe et en Amérique du Nord (pollution, compétition, conditions océaniques, etc.). Le COSEPAC (2011) évoque une diminution de la survie durant la phase marine comme cause du déclin des populations québécoises. Chaput (2012) observe également une diminution de la productivité et des taux de retour pour les stocks d'Amérique du Nord, depuis la fin des années 80. Des patrons similaires à l'échelle des grands ensembles de stock ou à l'échelle de l'océan Atlantique nord, font penser à des facteurs globaux affectant l'ensemble des stocks lors de leur passage en mer (Chaput, 2012). Les paramètres actuels de la dynamique de renouvellement montrent que la métapopulation est

viable mais une connaissance plus précise de la (des) cause(s) de la baisse des effectifs pourraient permettre d'éviter une dégradation de la productivité dans le futur.

6 RÉFÉRENCES

Anderson, W.G., Booth, R., Beddow, T.A., McKinley, R.S., Finstad, B., Økland, F., Scruton, D. 1998. Remote monitoring of heart rate as a measure of recovery in angled Atlantic salmon, Salmo salar (L.). Hydrobiologia 371/372, 233-240.

Casselman, S.J. 2005. Catch-and-release angling: a review with guidelines for proper fish handling prectices. Fish & Wildlife Branch. Ontario Ministry of Natural Resources. Peterborough, Ontario. 26 p.

Chaput, G., 2012. Overview of the status of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the North Atlantic and trends in marine mortality. ICES J. Mar. Sci. 69(9), 1538-1548.

Clark, J.S. 2007. Models for Ecological Data. An Introduction. Princeton University Press, Princeton, USA, 617 p.

COSEPAC. 2011. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon atlantique (*Salmo salar*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. xlix + 162 p.

Dempson, J.B., Furey, G., Bloom, M. 2002. Effects of catch and release angling on Atlantic salmon, *Salmo salar L.*, of the Conne River, Newfoundland. Fish. Manag. Ecol. 9, 139-147.

Dionne, M., Caron, F., Dodson, J.J., Bernatchez, L. 2008. Landscape genetics and hierarchical genetic structure in Atlantic salmon: The interaction of gene flow and local Adaptation. Mol. Ecol. 17, 2382-2396.

Fontaine, P.M., Caron, F. 1999. Détermination d'un seuil de conservation pour les rivières à saumon atlantique (*Salmo salar*) au Québec au moyen des relations stock-recrutement. Faune et Parcs Québec, Direction de la faune et des habitats. 136 p.

Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S., Rubin, D.B. 2004. Bayesian data analysis. Second edition. Texts in Statistical Science, Chapman & Hall/CRC, New York, USA, 668 p.

ICES, 2010. Report of the Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS). ICES CM 2010/ACCOM:09. Retrieved from: http://www.ices.dk/reports/ACOM/2010/WGNAS/WGNAS_2010.pdf.

King, R., Morgan, Byron J.T., Gimenez, O., Brooks, Stephen P. 2010. Bayesian analysis for population ecology. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, USA, 442 p.

Link, W.A., Barker, R.J. 2010. Bayesian inference with ecological applications. Academic Press, 339 p.

Lunn, D., Spiegelhalter, D., Thomas, A., Best, N. 2009. The BUGS project: evolution, critique and futur directions. Stat. Med. 28, 3049-3067.

MNRF. 2011. Bilan de l'exploitation du saumon au Québec en 2010. Ministère des ressources naturelles et de la faune. 282 p.

Palstra, F., Dionne, M. 2011. Analyse de la viabilité de populations de saumon atlantique (*Salmo salar*) : premiers développement de l'approche au Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, Service de la faune aquatique, 101 p.

Parrish, D.L., Behnke, R.J., Gephard, S.R., McCormick, S.D., Reeves, G.H. 1998. Why aren't there more Atlantic salmon (*Salmo salar*) ? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55(suppl. 1), 281-287.

Ricker, W.E. 1954. Stock and recruitment. J. Fish. Res. Board Can. 11, 559-623.

Thomas, A., O'Hara, B., Ligges, U., Sturtz, S. 2006. Making BUGS Open. R News 6(1), 12- 17.

Thorstad, E.B., Naesje, T.F., Leinan, I. 2007. Long-term effects of catch-and-release angling on ascending Atlantic salmon during different stages of spawning migration. Fish. Res. 85, 316-320.

Webb, J., Verspoor, E., Aubin-horth, N., Romakkaniemi, A., Amiro, P. 2007. The Atlantic salmon. In: Verspoor, E., Stradmeyer, L., Nielsen, J. (Eds.), The Atlantic salmon, genetics, conservation and management. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, pp. 17-56

ANNEXE 1. RIVIÈRE À L'HUILE

Surface (en unité de production)	107 262
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(1)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,015 [0,011 ; 0,020]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(1)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,005 [0,003 ; 0,006]

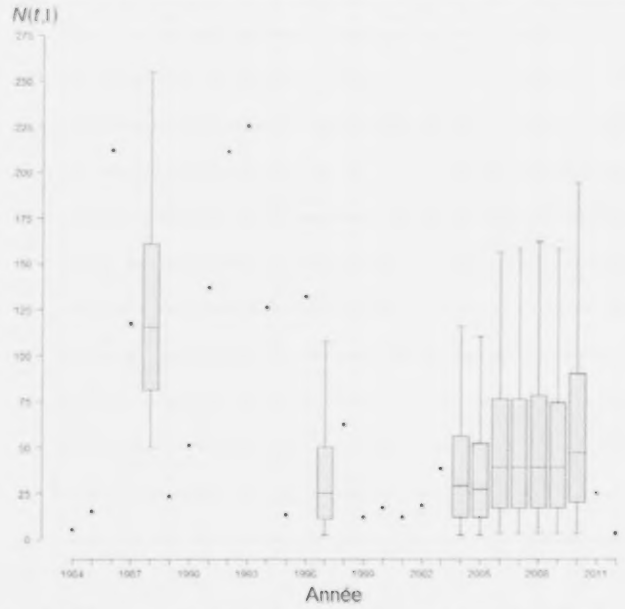


Figure A1.1. Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière A l'Huile (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.

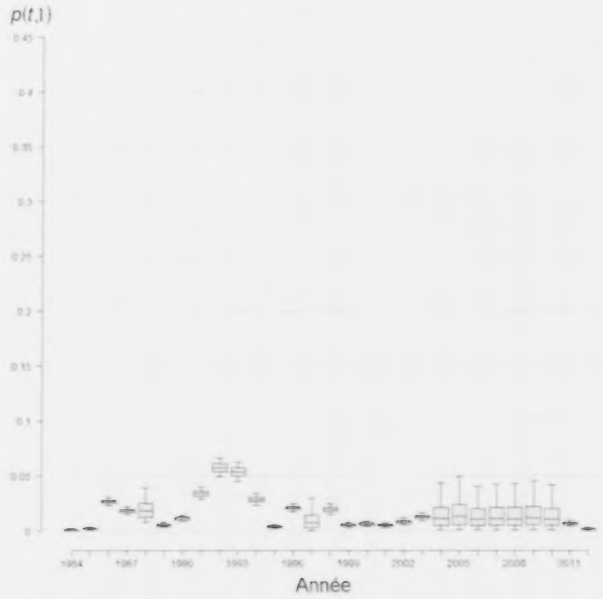


Figure A1.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière A l'Huile pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

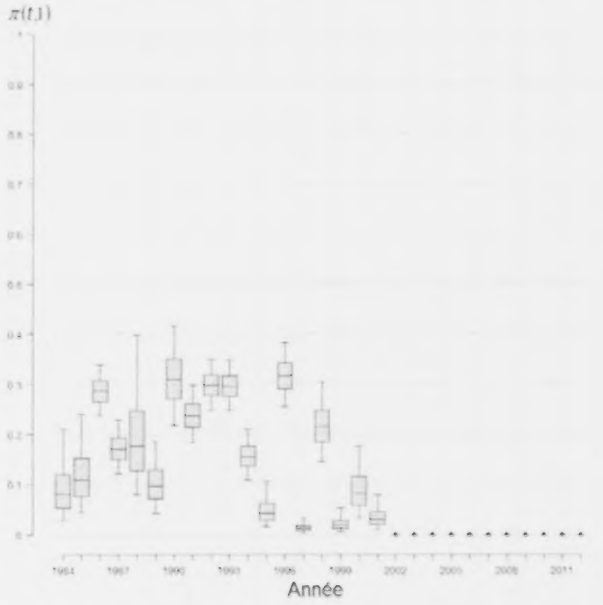


Figure A1.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière A l'Huile (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

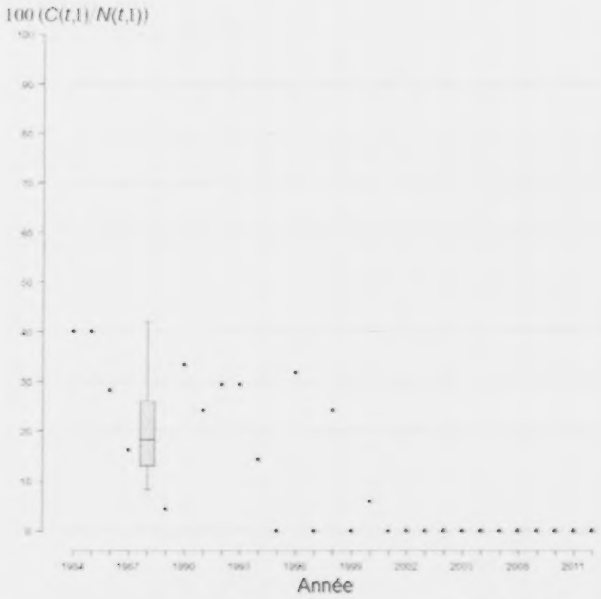


Figure A1.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière A l'Huile (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 2. RIVIÈRE MACDONALD

Surface (en unité de production)	108 849
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(2)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,028 [0,022 ; 0,034]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(2)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,004 [0,003 ; 0,005]

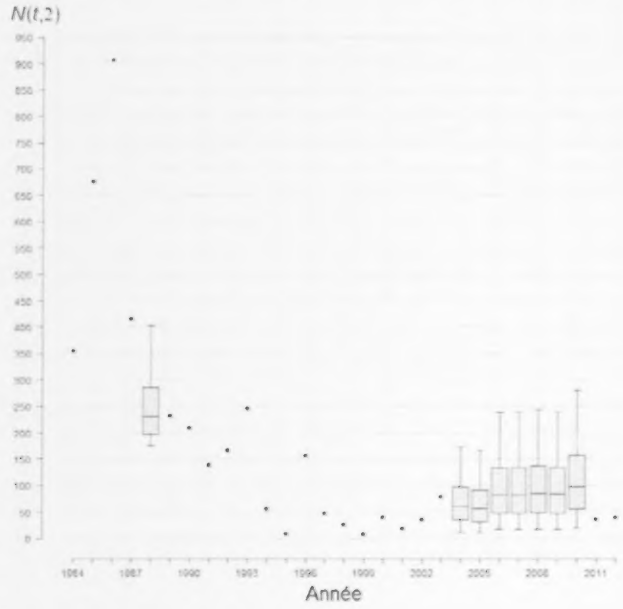


Figure A2.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière MacDonald (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

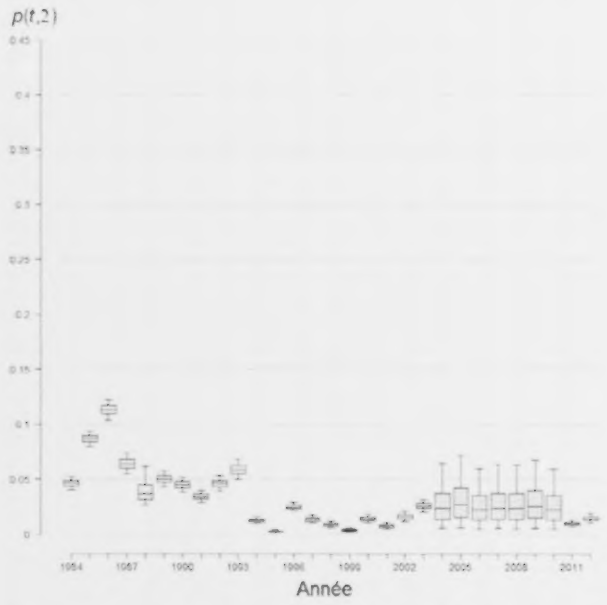


Figure A2.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière MacDonald pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

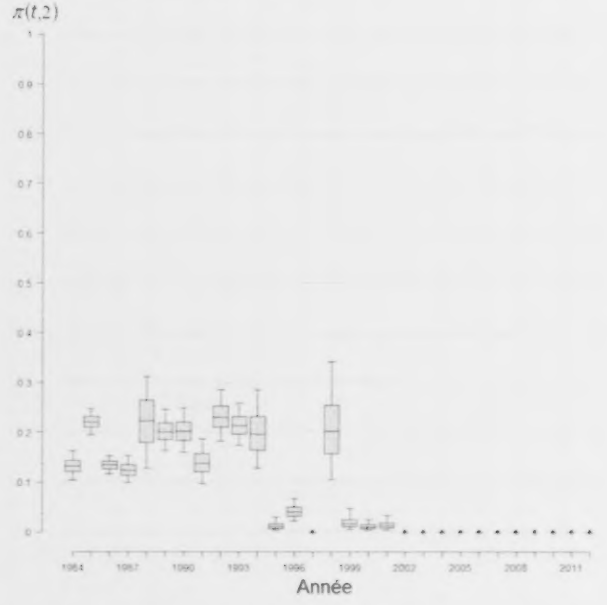


Figure A2.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière MacDonald (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

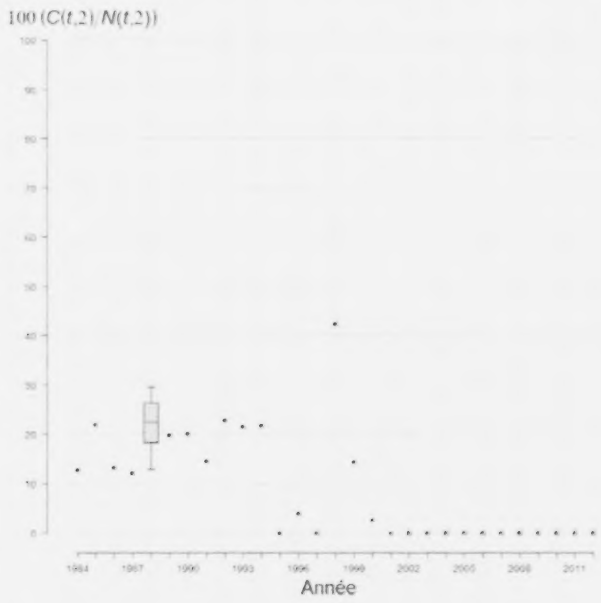


Figure A2.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière MacDonald (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 3. RIVIÈRE À LA PATATE

Surface (en unité de production)	67 124
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(3)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,025 [0,020 ; 0,031]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(3)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,004 [0,003 ; 0,005]

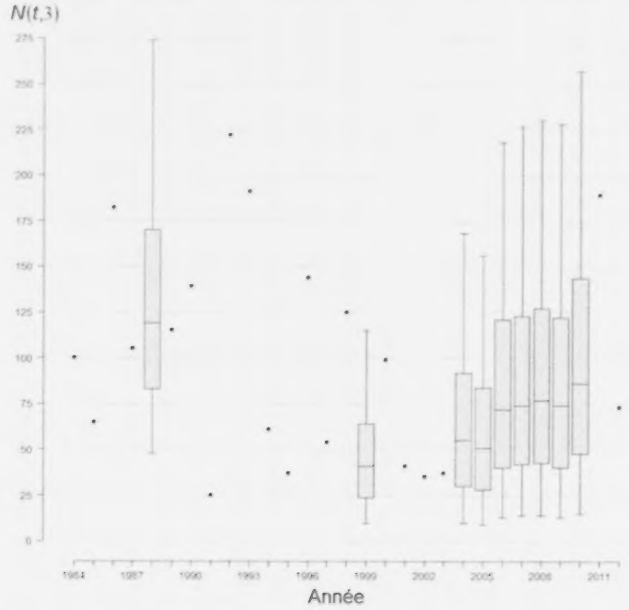


Figure A3.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière A la Patate (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

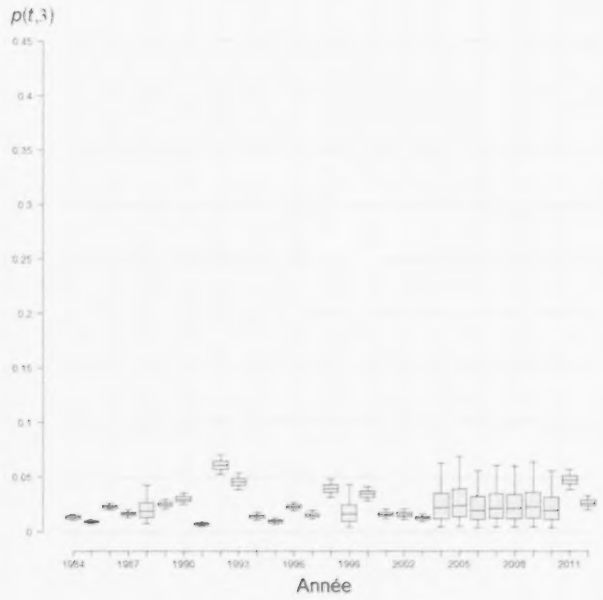


Figure A3.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière A la Patate pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

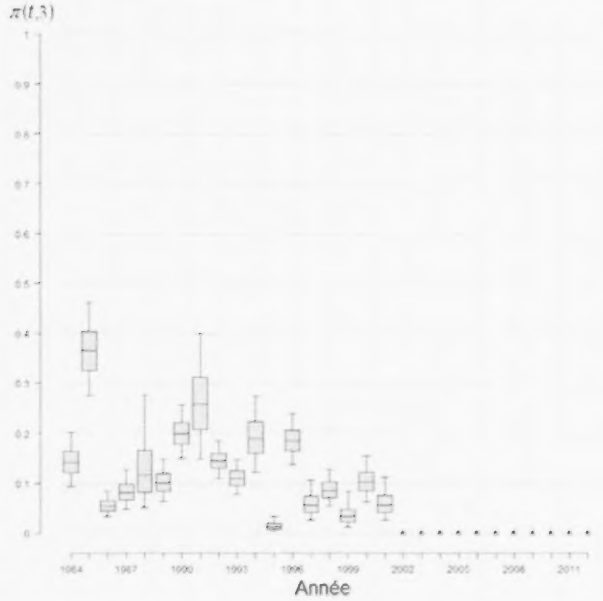


Figure A3.3. *Evolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière A la Patate (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

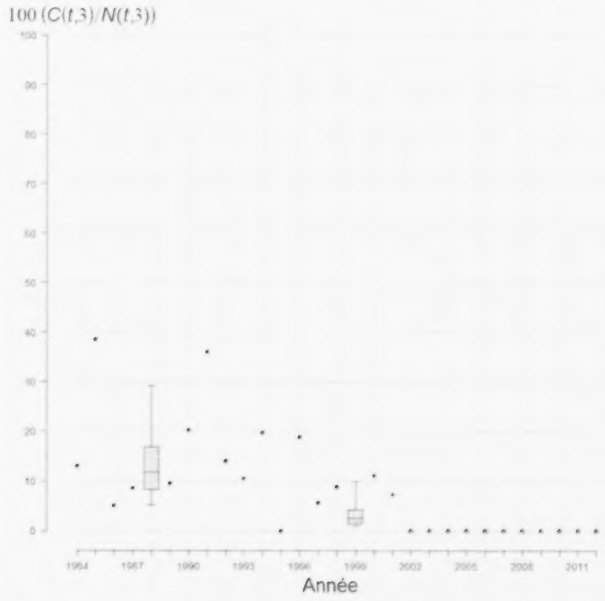


Figure A3.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière A la Patate (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 4. RIVIÈRE VAURÉAL

Surface (en unité de production)	79 669
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(4)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,017 [0,013 ; 0,022]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(4)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,005 [0,004 ; 0,007]

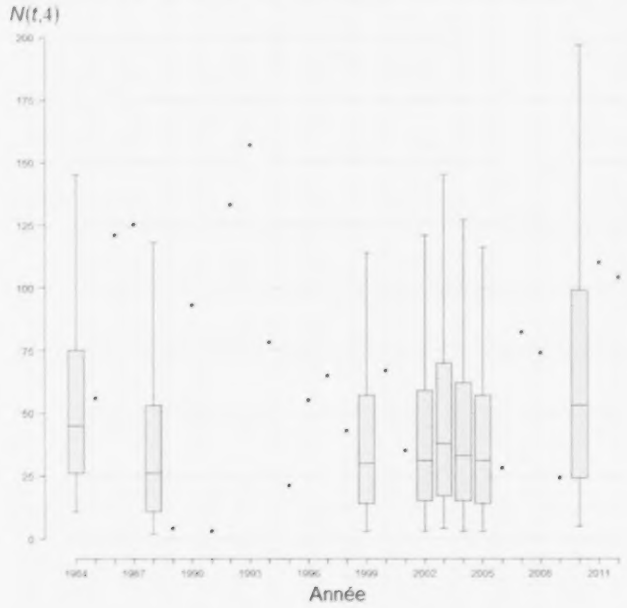


Figure A4.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Vauréal (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

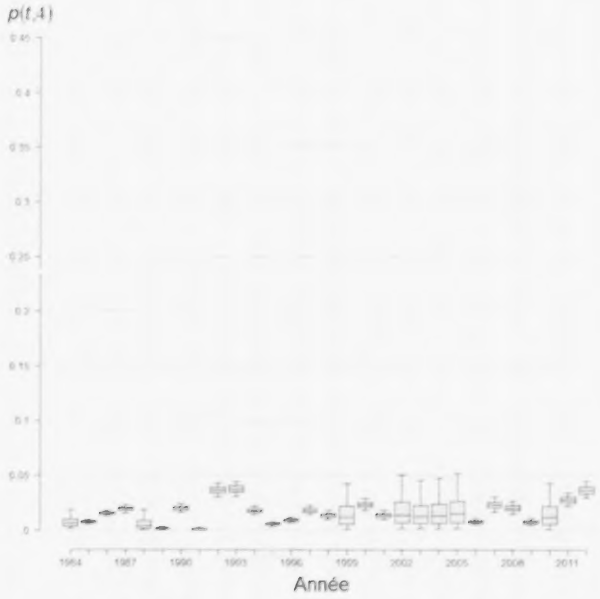


Figure A4.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Vauréal pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

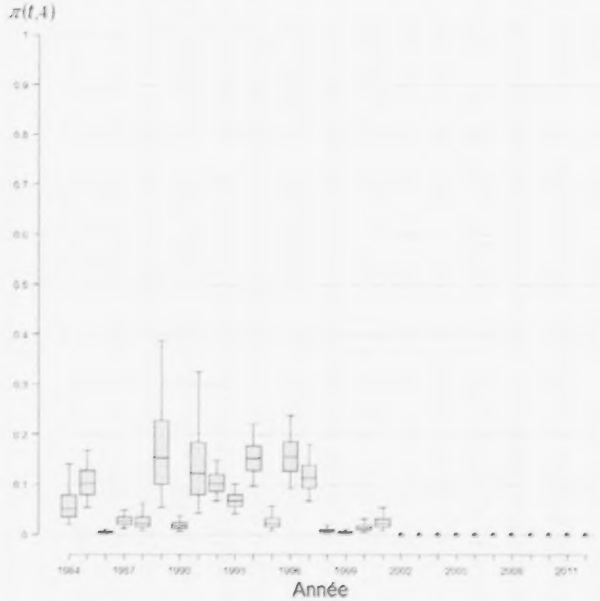


Figure A4.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Vauréal (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

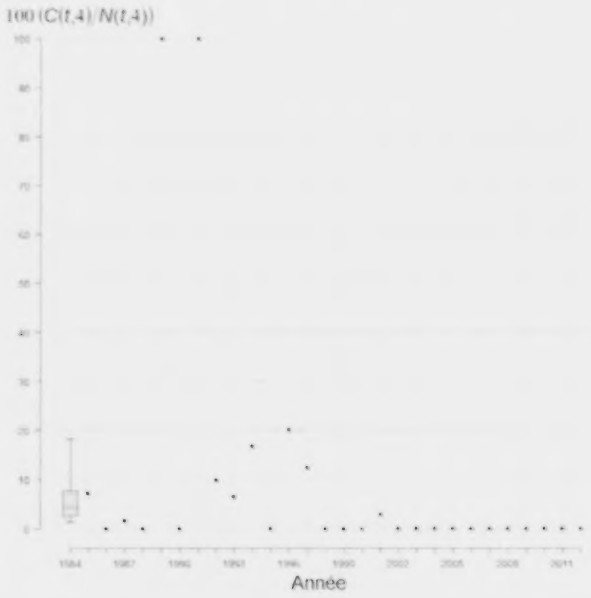


Figure A4.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Vauréal (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 5. RIVIÈRE AUX SAUMONS

Surface (en unité de production)	453 875
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(5)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,118 [0,104 ; 0,134]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(5)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,001 [0,001 ; 0,001]

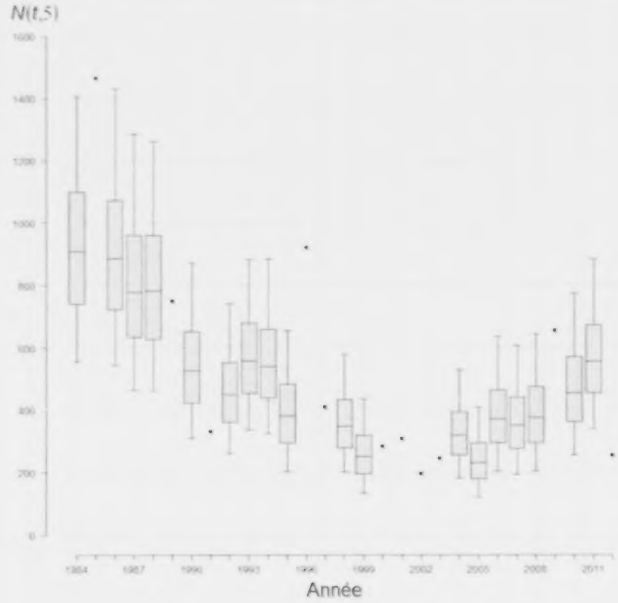


Figure A5.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Aux Saumons (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

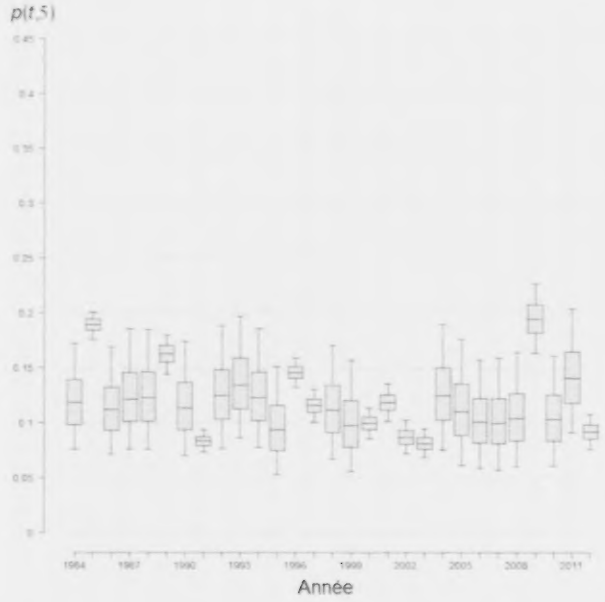


Figure A5.2. *Evolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Aux Saumons pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

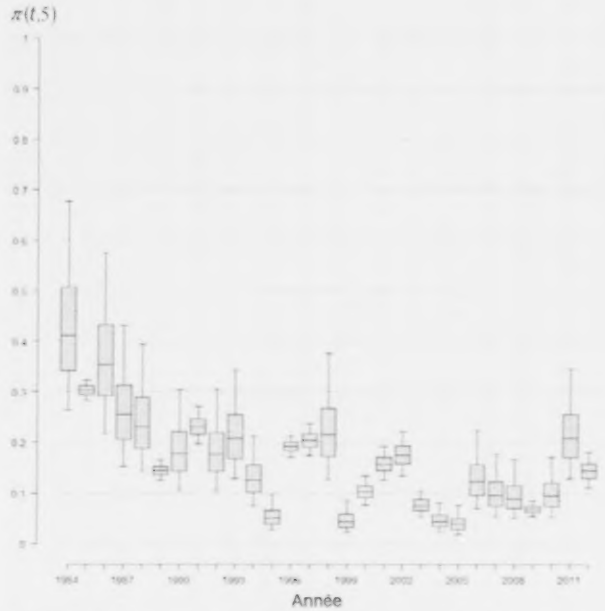


Figure A5.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Aux Saumons (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

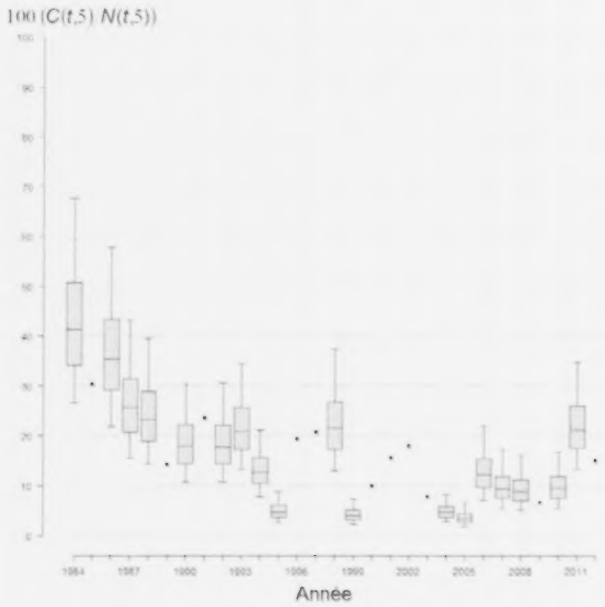


Figure A5.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Aux Saumons (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 6. RIVIÈRE DU RENARD

Surface (en unité de production)	117 570
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(6)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,011 [0,006 ; 0,018]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(6)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,007 [0,003 ; 0,012]

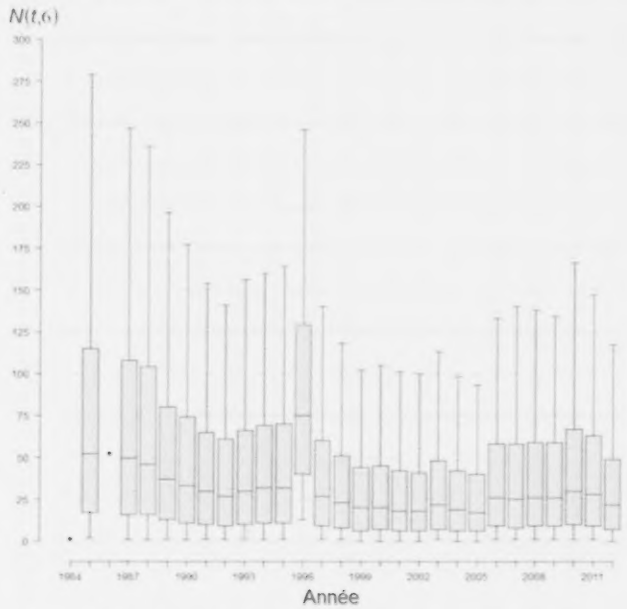


Figure A6.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Du Renard (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

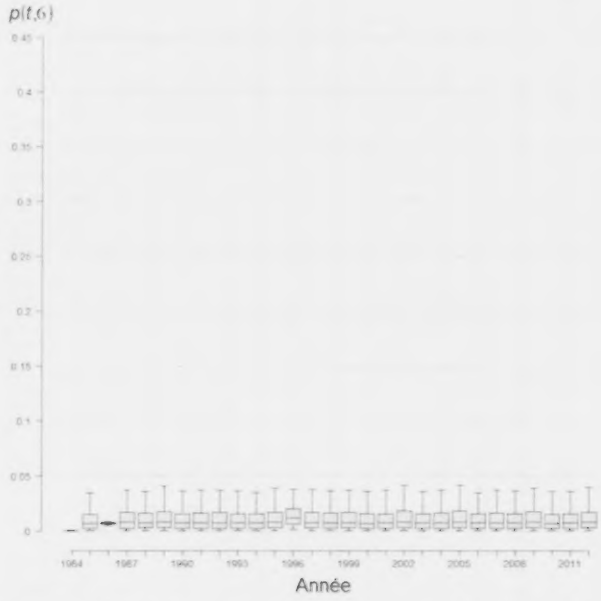


Figure A6.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Du Renard pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur ladynamique de renouvellement de la métapopulation.*

L'année 1996 est la seule année pour laquelle l'effort de pêche est différent de 0 ($E(13,6) = 1$). Pour cette année-là, la probabilité de capture par la pêche sportive ($\pi(13,6)$) vaut en moyenne 0,008 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [0,002 ; 0,019]) et le taux d'exploitation ($100\ (C(13,6)\ N(13,6))$) vaut en moyenne 2,55 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [0,41 ; 7,69]).

ANNEXE 7. PETITE RIVIÈRE DE LA LOUTRE

Surface (en unité de production)	135 871
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(7)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,034 [0,018 ; 0,052]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(7)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,007 [0,004 ; 0,013]

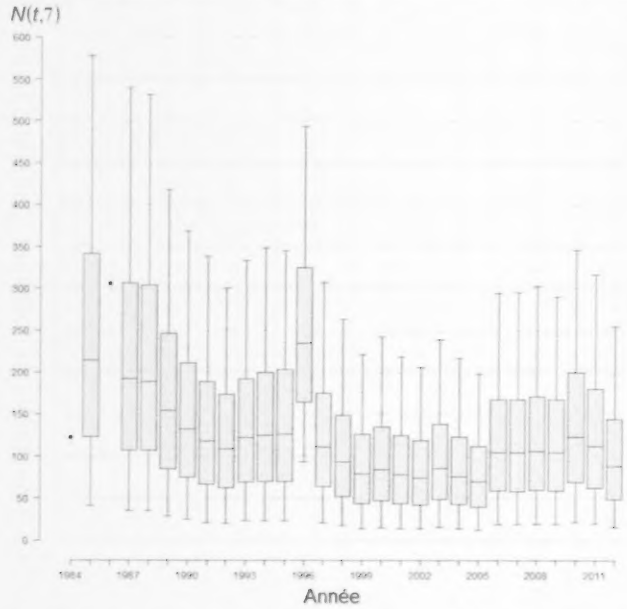


Figure A7.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la Petite rivière de la Loutre (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

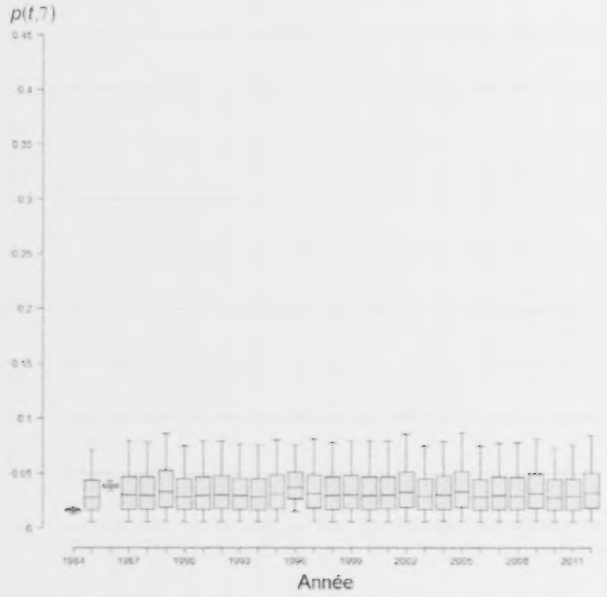


Figure A7.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la Petite rivière de la Loutre pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

L'année 1996 est la seule année pour laquelle l'effort de pêche est différent de 0 ($E(13,7) = 4$). Pour cette année-là, la probabilité de capture par la pêche sportive ($\pi(13,7)$) vaut en moyenne 0,034 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [0,013 ; 0,074]) et le taux d'exploitation ($100\ (C(13,7)\ N(13,7))$) vaut en moyenne 4,06 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [1,62 ; 8,60]).

ANNEXE 8. RIVIÈRE BELL

Surface (en unité de production)	119 414
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(8)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,026 [0,018 ; 0,035]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(8)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,005 [0,004 ; 0,008]

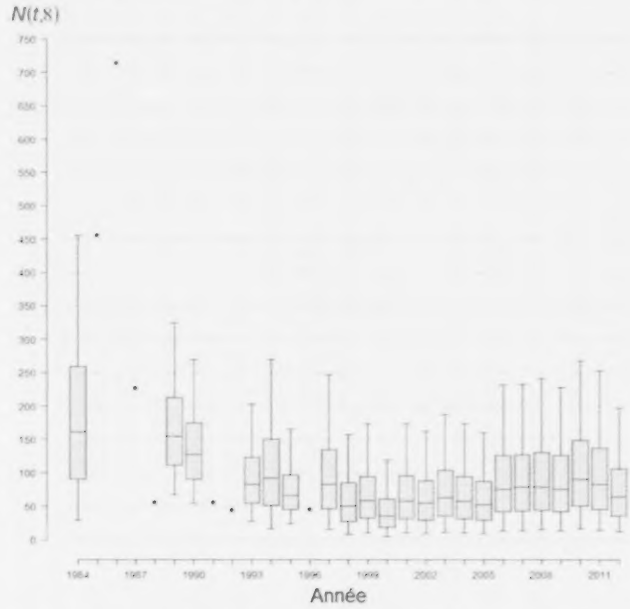


Figure A8.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Bell (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

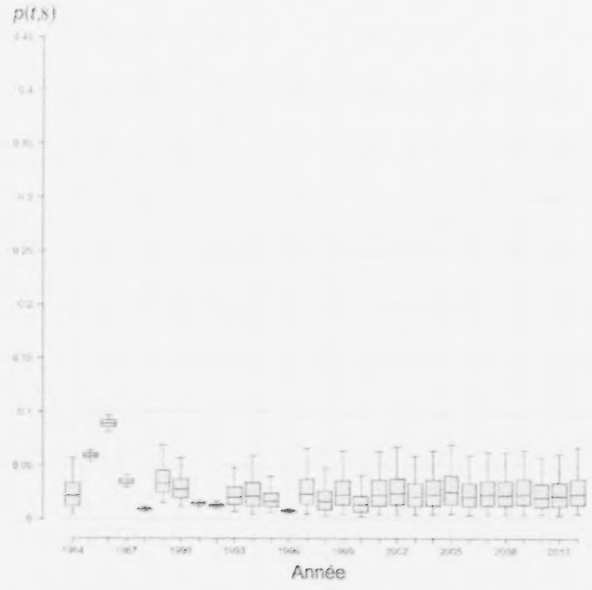


Figure A8.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Bell pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

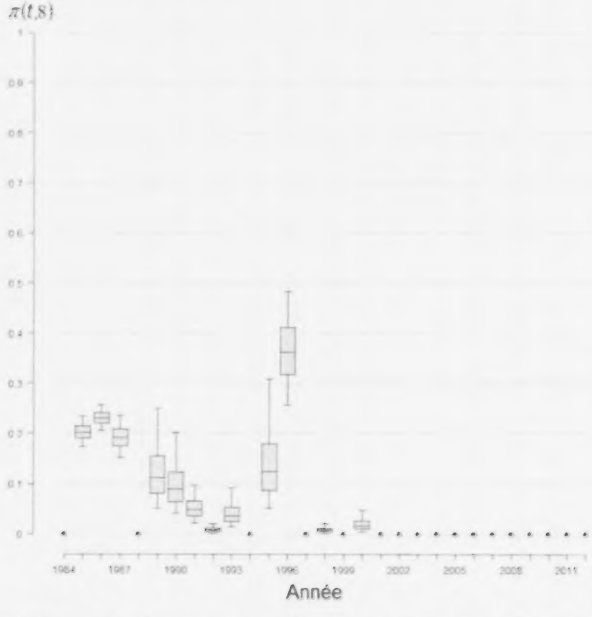


Figure A8.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Bell (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

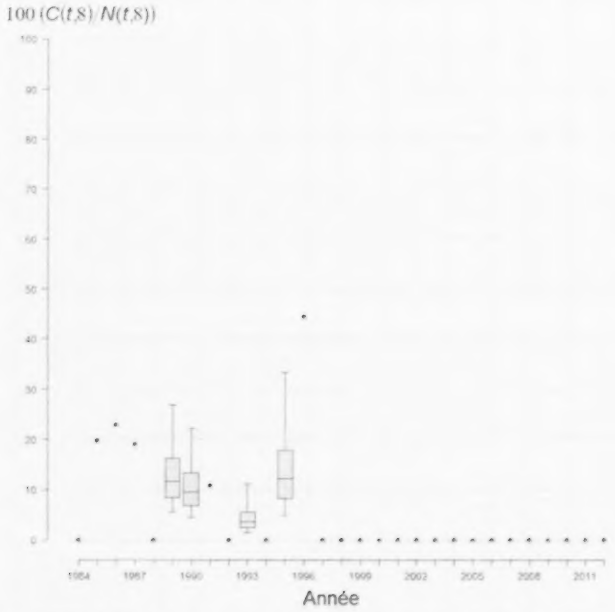


Figure A8.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Bell (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 9. RUISSEAU BOX

Surface (en unité de production)	97 817
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(9)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,023 [0,015 ; 0,031]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(9)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,006 [0,003 ; 0,008]

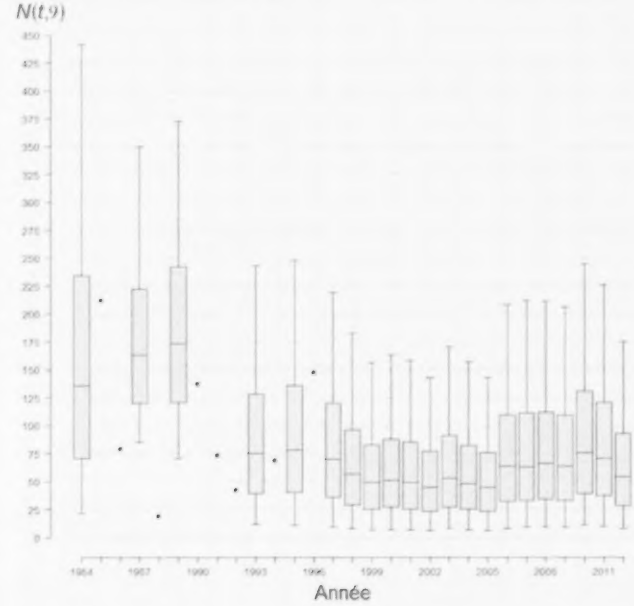


Figure A9.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) du ruisseau Box (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

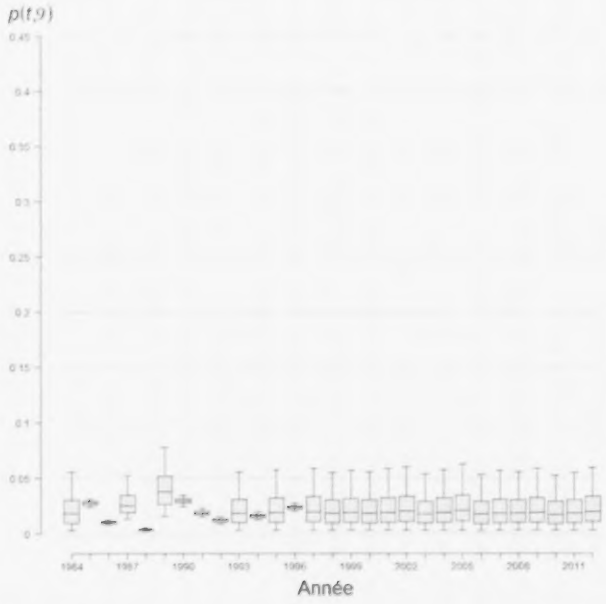


Figure A9.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans le ruisseau Box pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

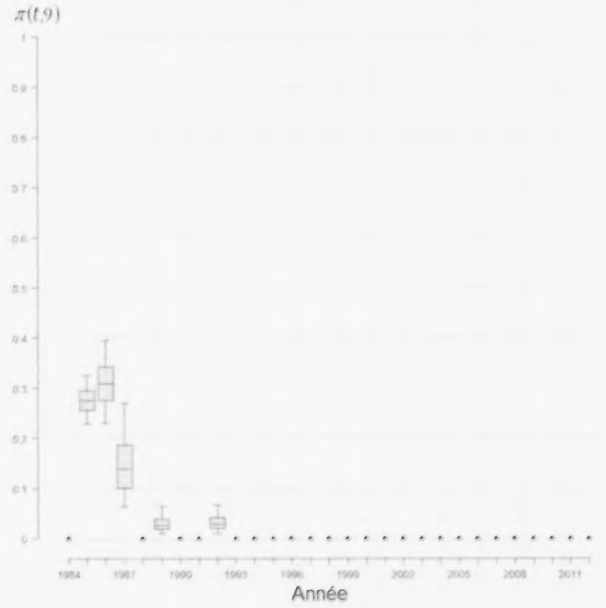


Figure A9.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans le ruisseau Box (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0.*

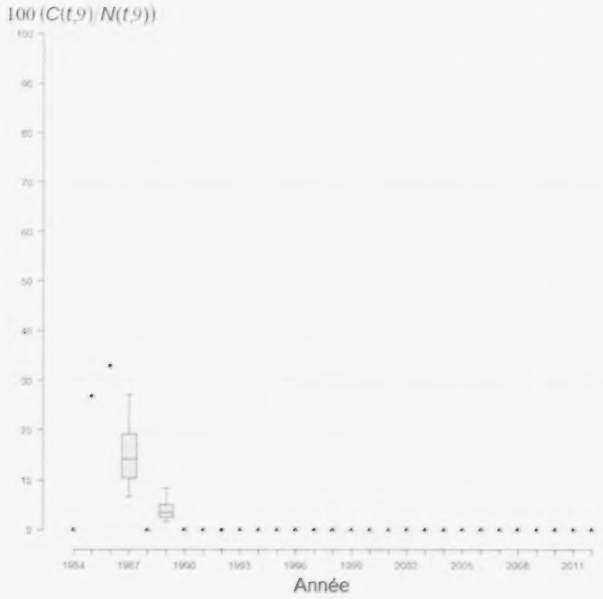


Figure A9.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans le ruisseau Box (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0.*

ANNEXE 10. RIVIÈRE DAUPHINÉ

Surface (en unité de production)	242 728
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(10)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,034 [0,027 ; 0,043]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(10)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,005 [0,003 ; 0,007]

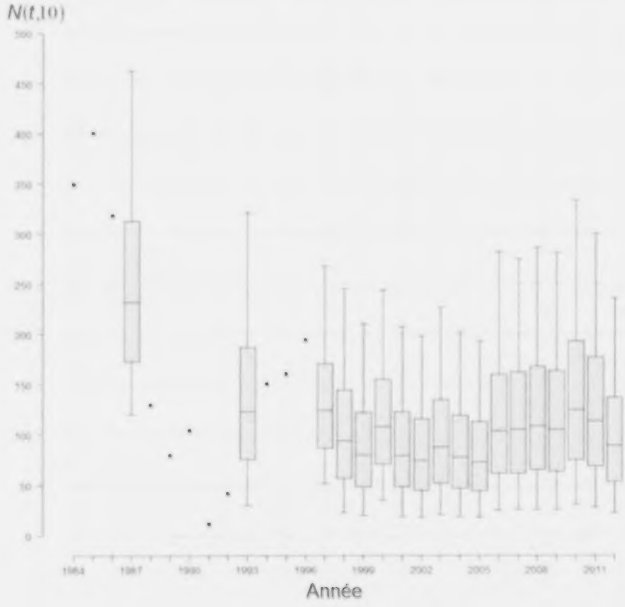


Figure A10.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Dauphiné (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

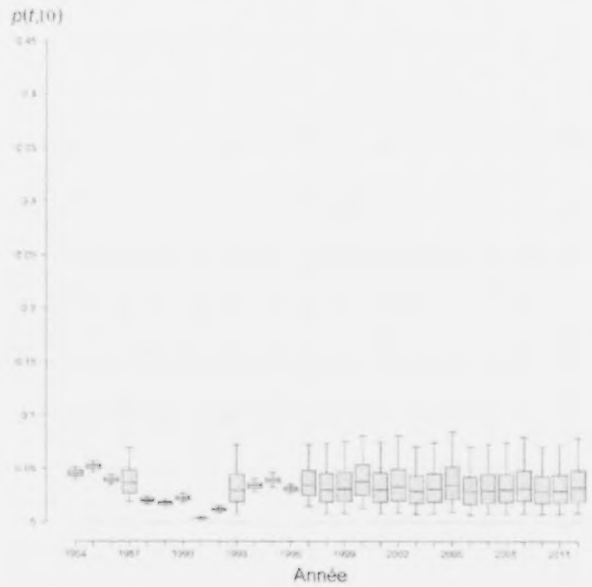


Figure A10.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Dauphiné pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

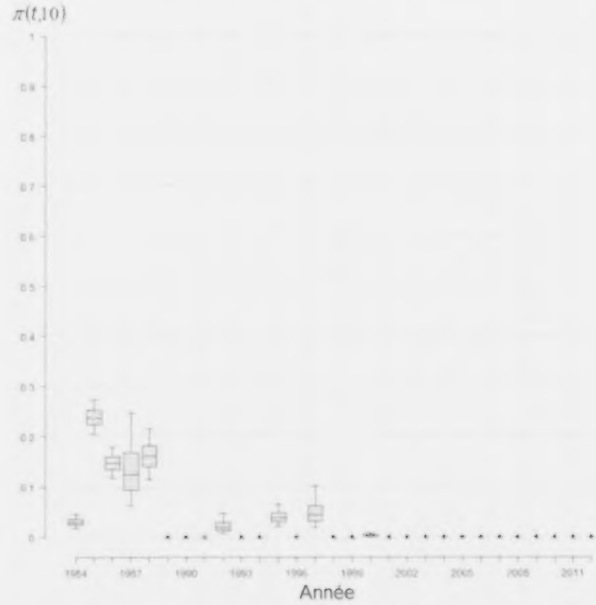


Figure A10.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Dauphiné (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

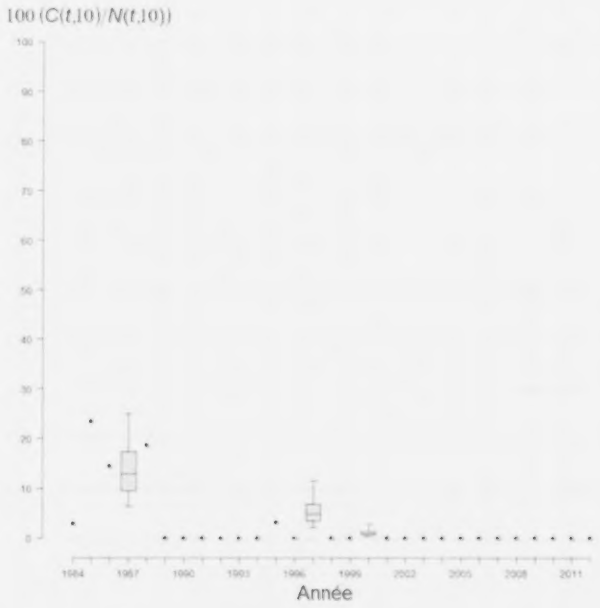


Figure A10.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Dauphiné (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 11. PETITE RIVIÈRE DE LA CHALOUPE

Surface (en unité de production)	106 134 [47 369 ; 176 300]
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(11)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,016 [0,010 ; 0,023]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(11)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,007 [0,004 ; 0,012]

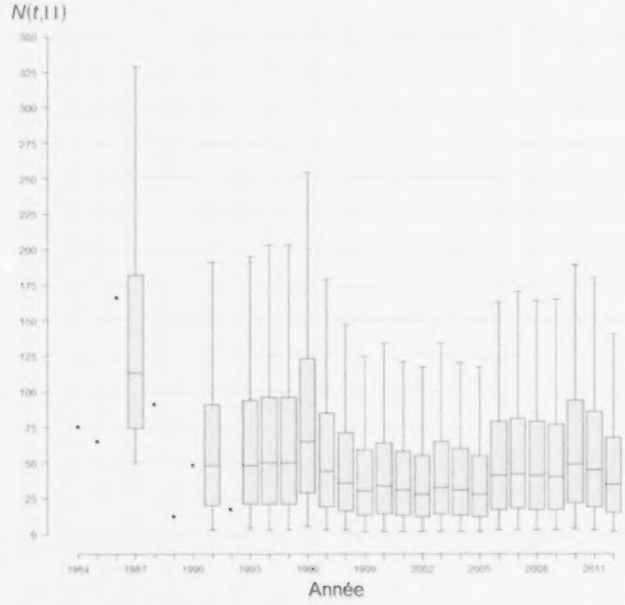


Figure A11.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la Petite rivière de la Chaloupe (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

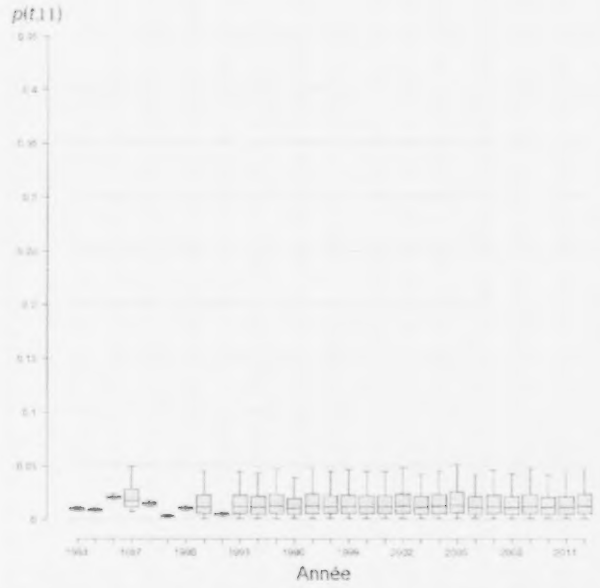


Figure A11.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la Petite rivière de la Chaloupe pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

Les années 1986, 1988 et 1989 sont les seules années pour lesquelles l'effort de pêche est différent de 0 ($E(3,11) = 4$, $E(5,11) = 6$ et $E(6,11) = 4$). Pour ces années-là, la probabilité de capture par la pêche sportive ($\pi(t,11)$) vaut respectivement en moyenne 0,017 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [0,007 ; 0,032]), 0,095 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [0,054 ; 0,145]) et 0,025 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [0,006 ; 0,058]). Pour ces mêmes années, le taux d'exploitation ($100\ (C(t,11)\ N(t,11))$) vaut respectivement 1,20, 12,09 et 0 (données).

ANNEXE 12 RIVIÈRE MACCAN

Surface (en unité de production)	115 434 [45 520 ; 198 205]
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(12)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,020 [0,011 ; 0,031]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(12)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,006 [0,003 ; 0,012]

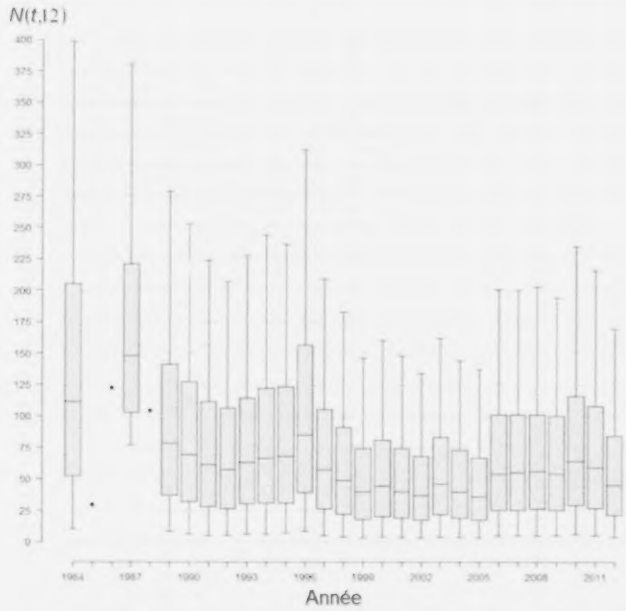


Figure A12.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Maccan (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

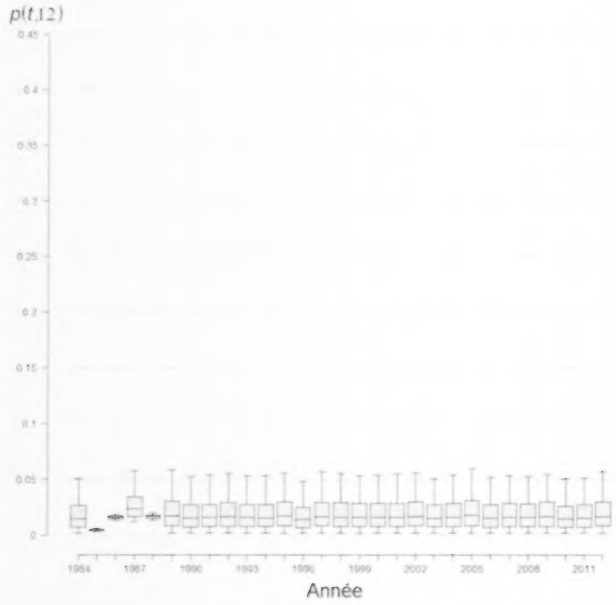


Figure A12.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Maccan pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

De 1984 à 2012, l'effort de pêche est égal à 0.

ANNEXE 13 RIVIÈRE DE LA CHALOUPE

Surface (en unité de production)	331 119
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(13)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,127 [0,114 ; 0,140]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(13)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,001 [0,001 ; 0,002]

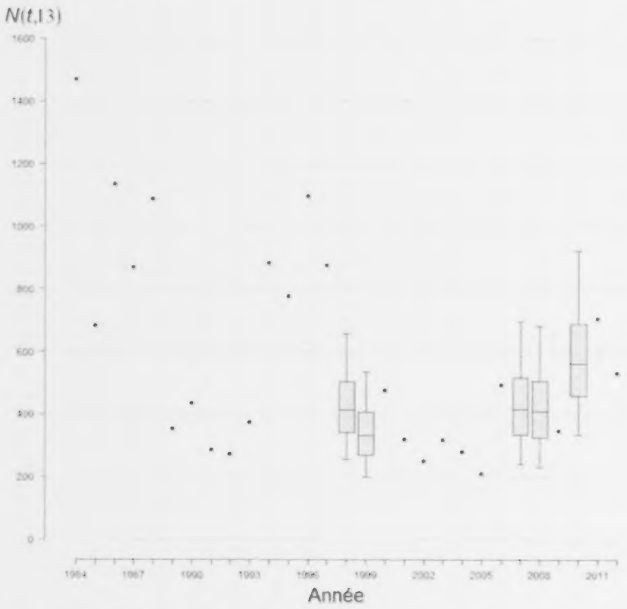


Figure A13.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière De la Chaloupe (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

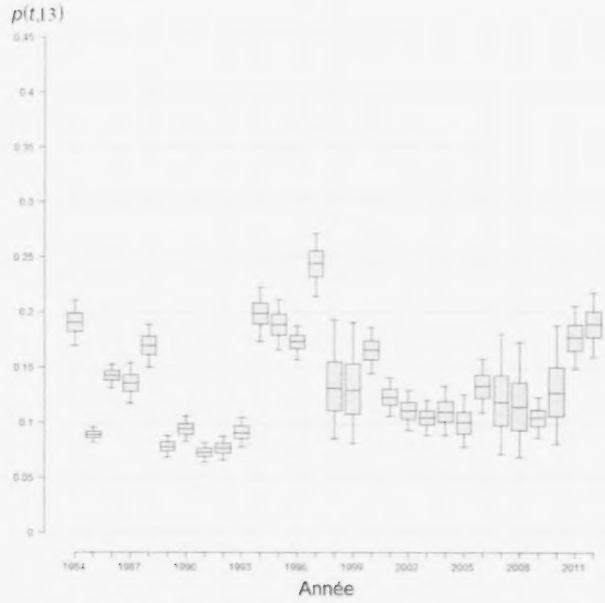


Figure A13.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière De la Chaloupe pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

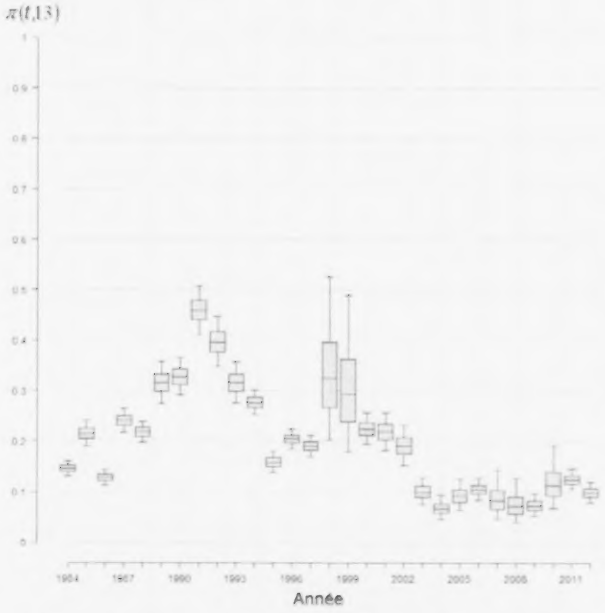


Figure A13.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière De la Chaloupe (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

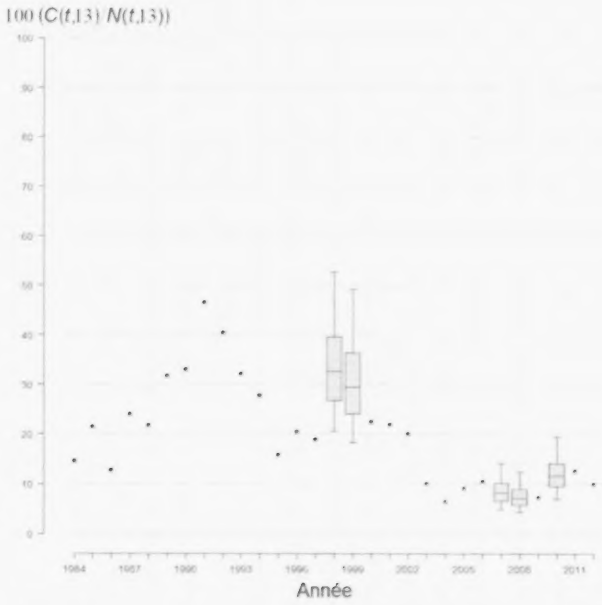


Figure A13.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière De la Chaloupe (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 14 RIVIÈRE FERRÉE

Surface (en unité de production)	92 933
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(14)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,036 [0,029 ; 0,043]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(14)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,005 [0,004 ; 0,007]

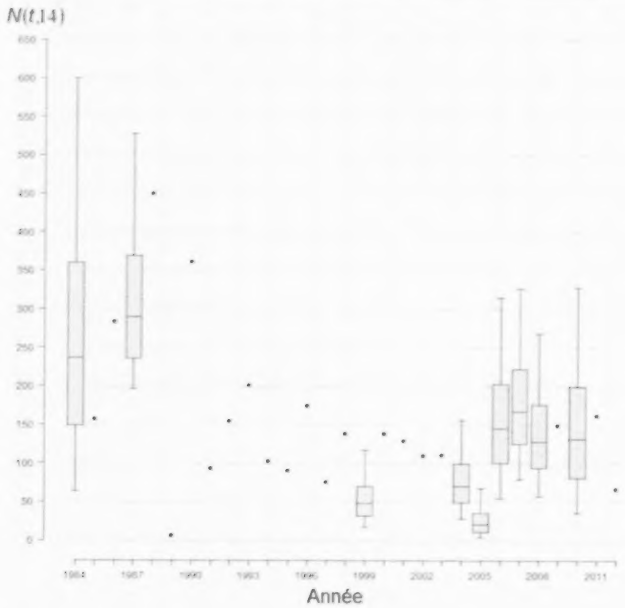


Figure A14.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Ferrée (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

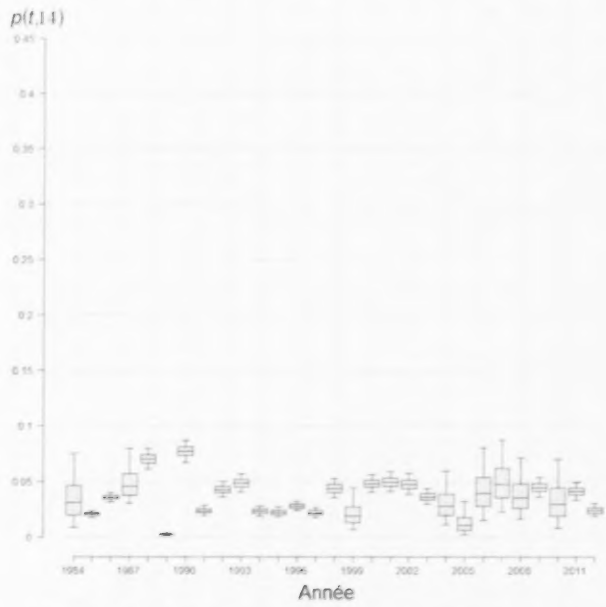


Figure A14.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Ferrée pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

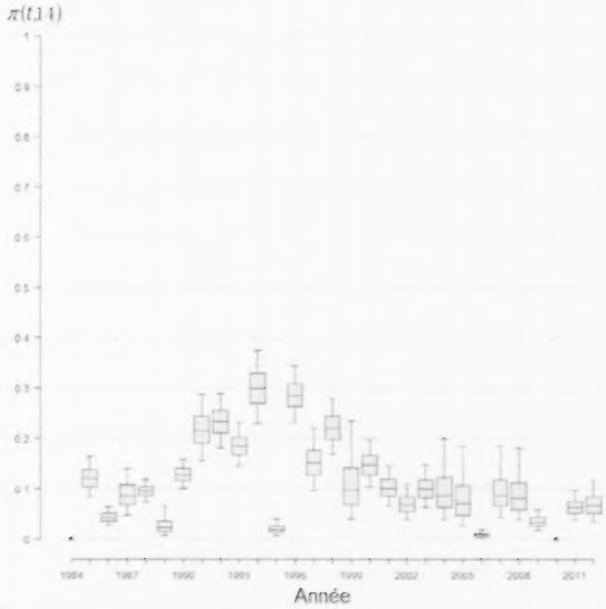


Figure A14.3. *Evolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Ferrée (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

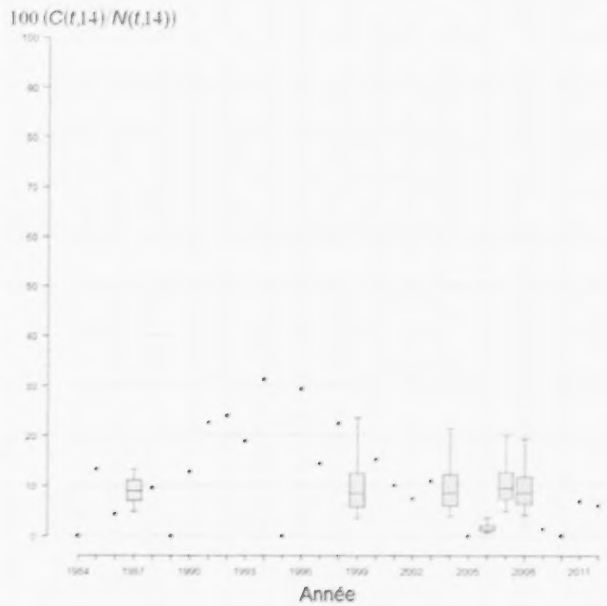


Figure A14.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Ferrée (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 15 RUISSEAU MARTIN

Surface (en unité de production)	91 115 [41 640 ; 150 800]
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(15)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,010 [0,006 ; 0,014]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(15)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,009 [0,005 ; 0,016]

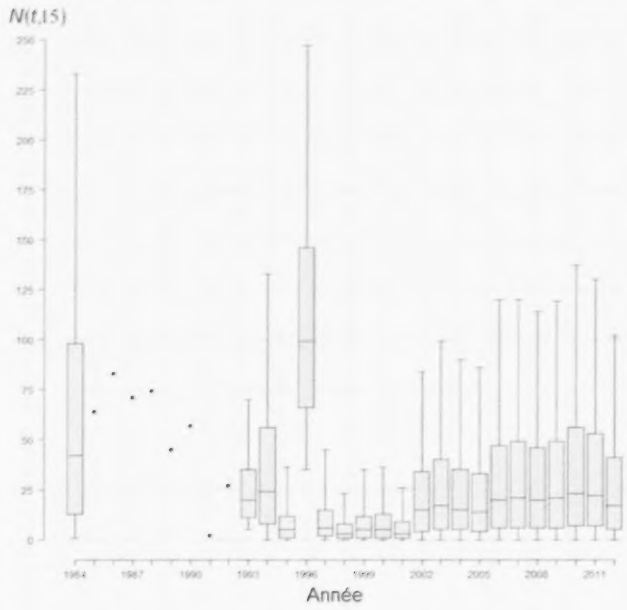


Figure A15.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) du ruisseau Martin (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

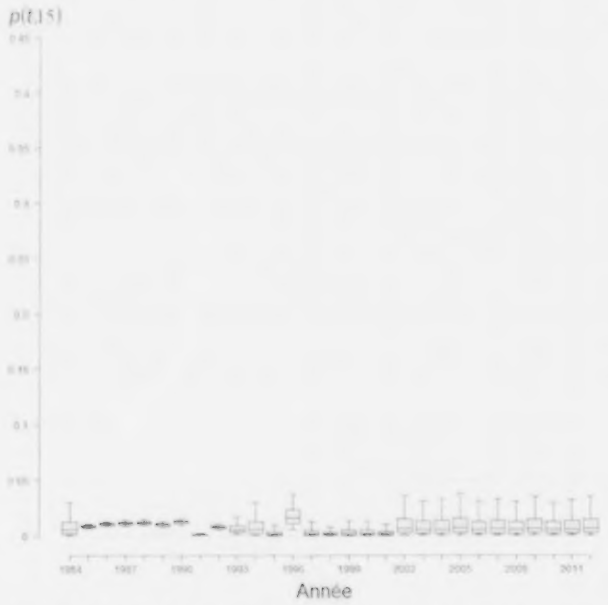


***Figure A15.2**. Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans le ruisseau Martin pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

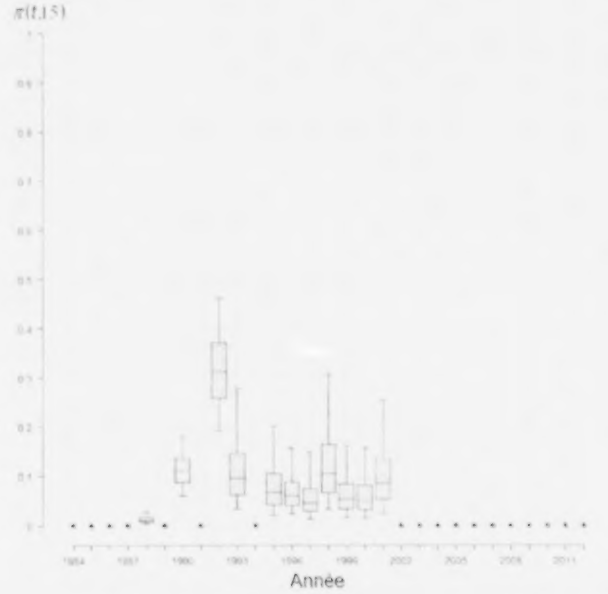


***Figure A15.3.** Evolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans le ruisseau Martin (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

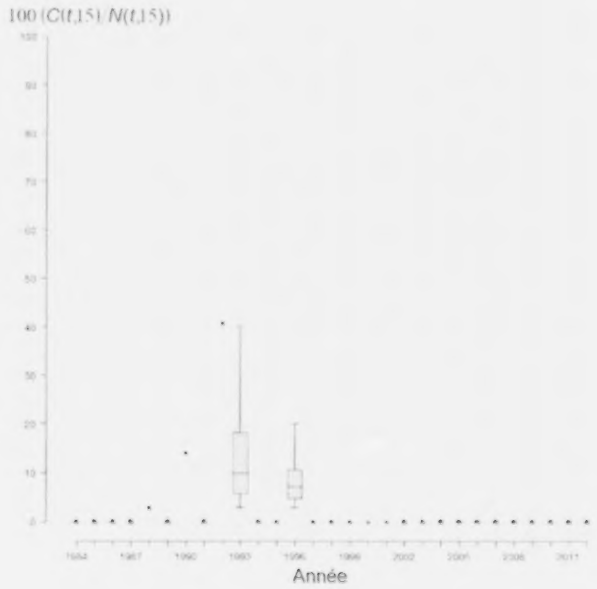


Figure A15.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans le ruisseau Martin (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 16 RIVIÈRE DU PAVILLON

Surface (en unité de production)	68 722
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(16)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,015 [0,009 ; 0,023]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(16)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,007 [0,003 ; 0,013]

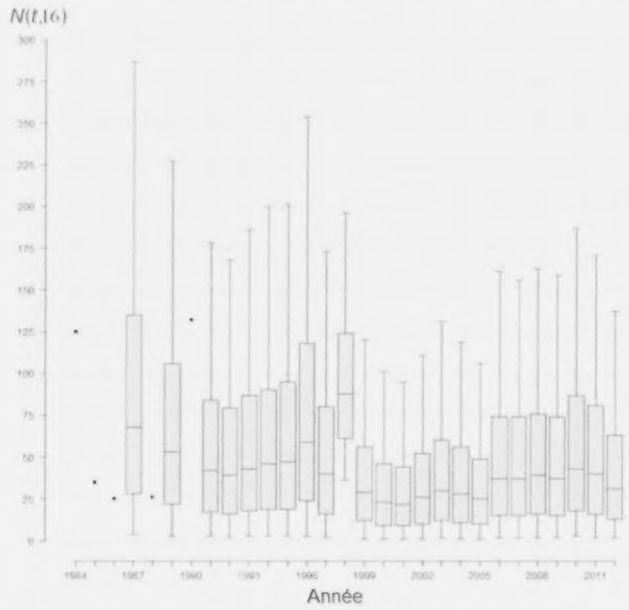


Figure A16.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Du Pavillon (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

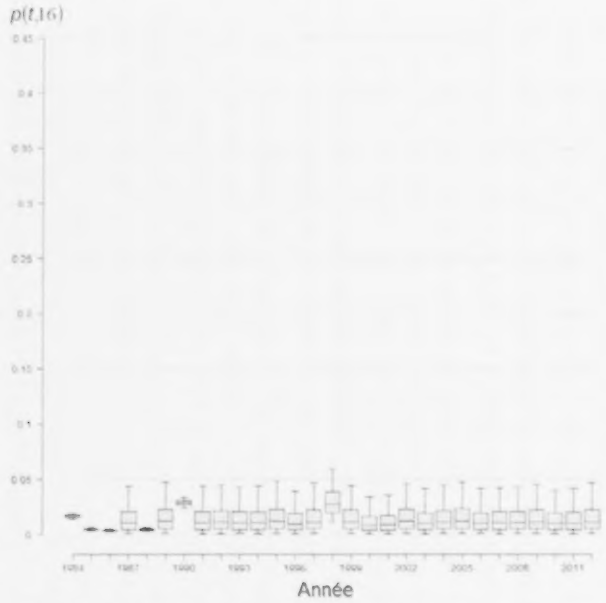


Figure A16.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Du Pavillon pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

Les années 1998, 2000 et 2001 sont les seules années pour lesquelles l'effort de pêche est différent de 0 (E(15,16) = 14, E(17,16) = 2 et E(18,16) = 2). Pour les années 2000 et 2001, seulement les individus de moins de 63 cm sont ciblés par la pêche. Pour les 3 années, la probabilité de capture par la pêche sportive (π (t,16)) vaut respectivement en moyenne 0,127 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [0,047 ; 0,267]), 0,008 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [0,002 ; 0,020]) et 0,008 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [0,002 ; 0,020]). En 1998, le taux d'exploitation (100 (C(15,16) N(15,16))) vaut en moyenne 14,64 (intervalle de crédibilité Bayésien à 90 % : [5,61 ; 30,56]). Pour les années 2000 et 2001, aucun poisson n'est capturé, le taux d'exploitation est donc égal à 0.

ANNEXE 17 RIVIÈRE AUX PLATS

Surface (en unité de production)	99 591
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(17)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,012 [0,007 ; 0,016]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(17)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,003 [0,003 ; 0,011]

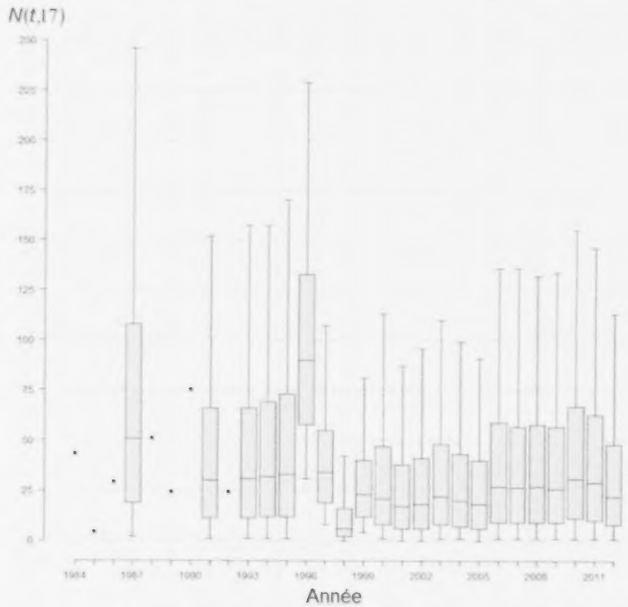


Figure A17.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Aux Plats (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

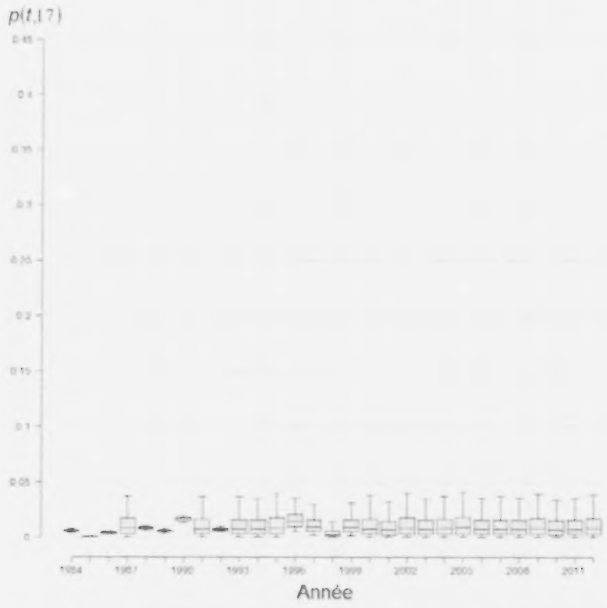


Figure A17.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Aux Plats pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

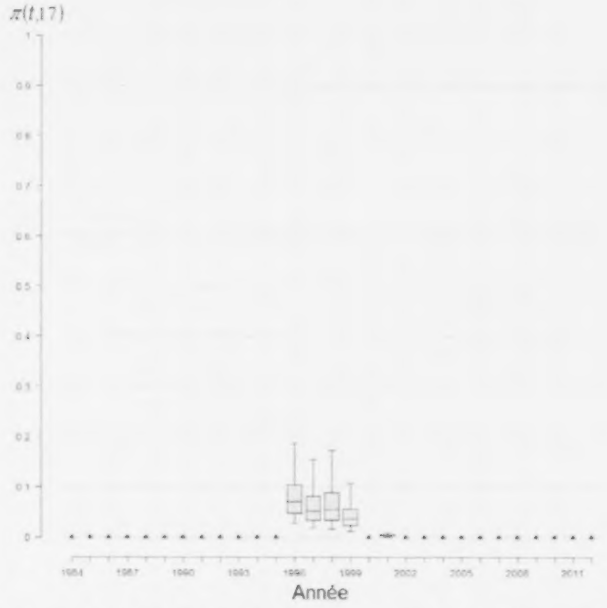


Figure A17.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Aux Plats (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

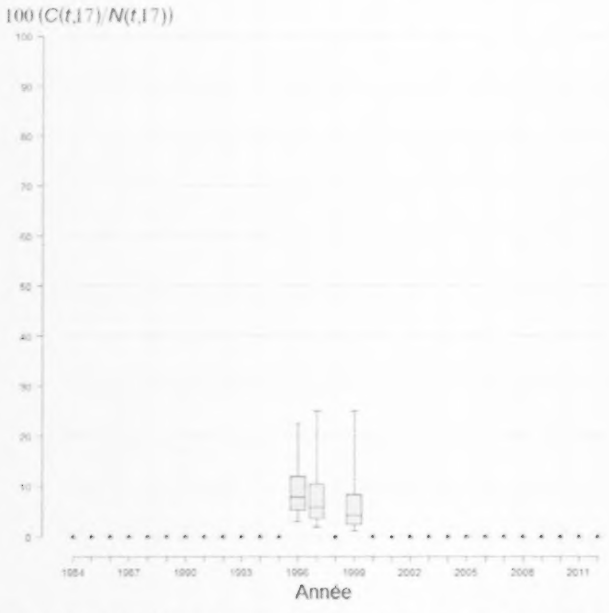


Figure A17.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Aux Plats (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 18 RIVIÈRE CHICOTTE

Surface (en unité de production)	113 614
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(18)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,010 [0,006 ; 0,014]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(18)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,011 [0,007 ; 0,018]

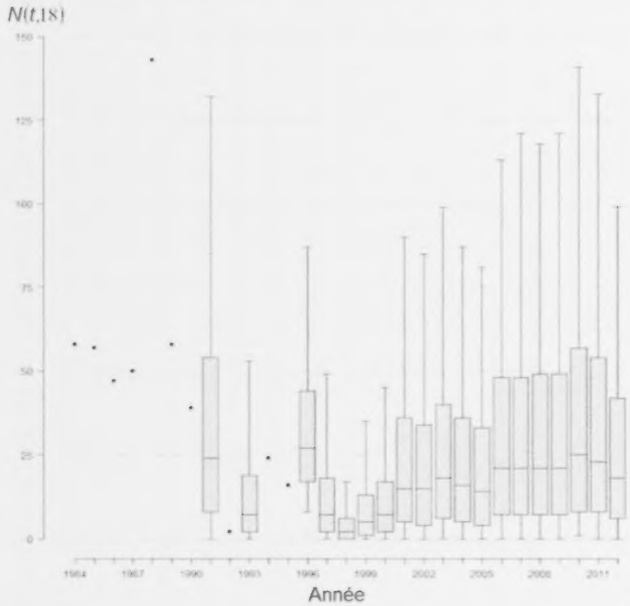


Figure A18.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Chicotte (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

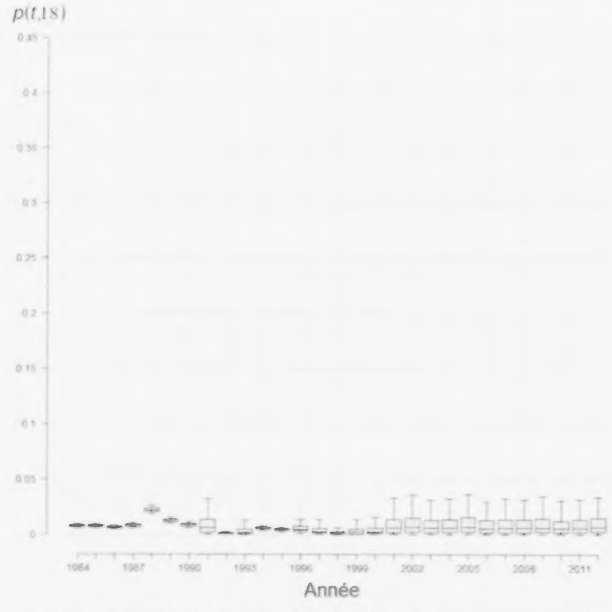


Figure A18.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Chicotte pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

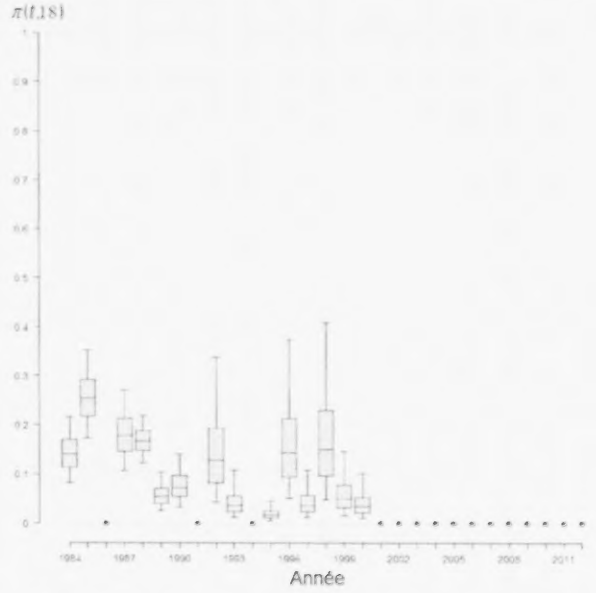


Figure A18.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Chicotte (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

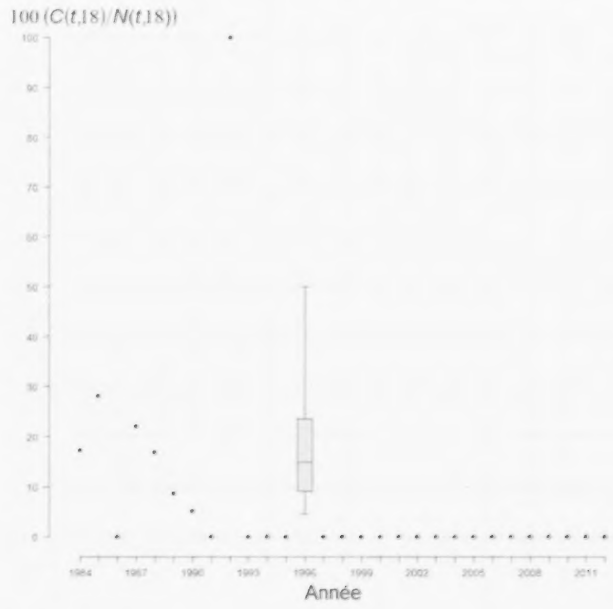


Figure A18.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Chicotte (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 19 RIVIÈRE GALIOTE

Surface (en unité de production)	222 687
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(19)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,020 [0,015 ; 0,026]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(19)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,006 [0,005 ; 0,008]

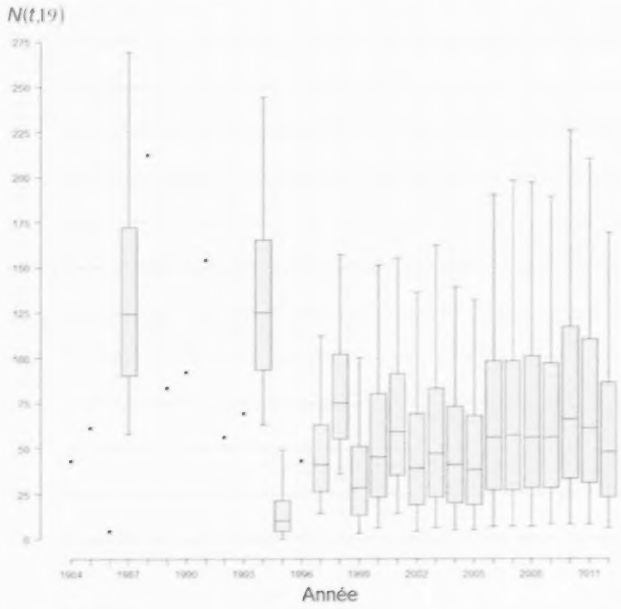


Figure A19.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Galiote (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

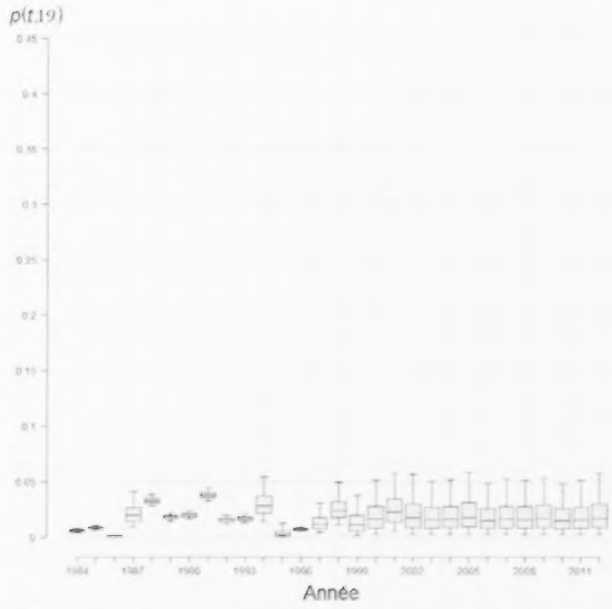


Figure A19.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Galiote pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

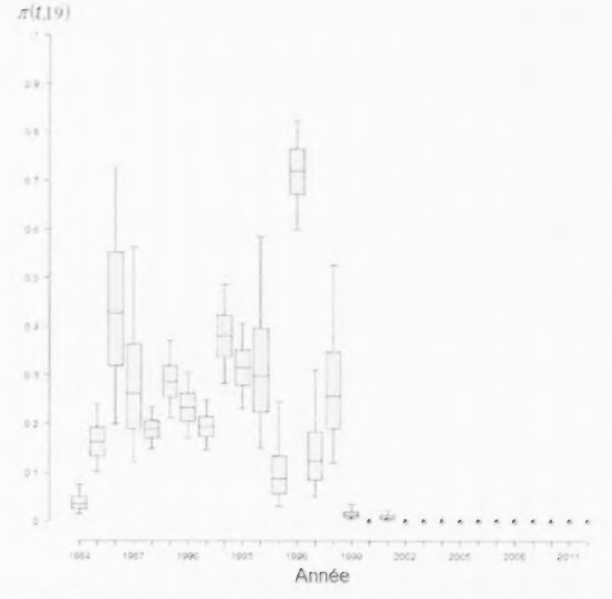


Figure A19.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Galiote (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

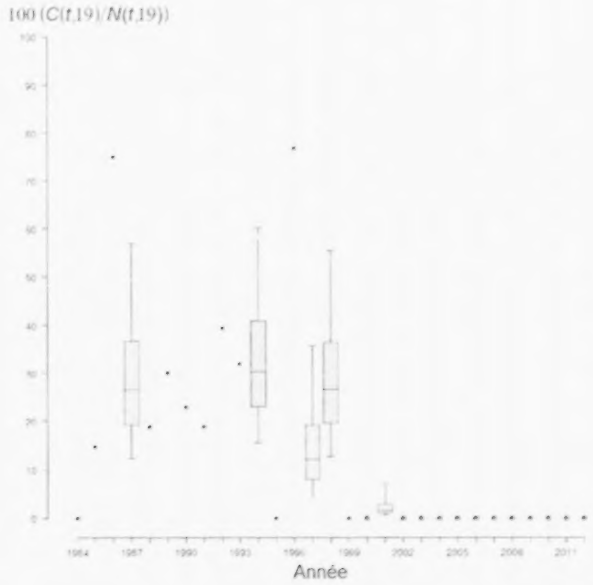


Figure A19.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Galiote (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 20 RIVIÈRE DU BRICK

Surface (en unité de production)	81 743 [38 490 ; 135 400]
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(20)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,006 [0,005 ; 0,009]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(20)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,007 [0,004 ; 0,012]

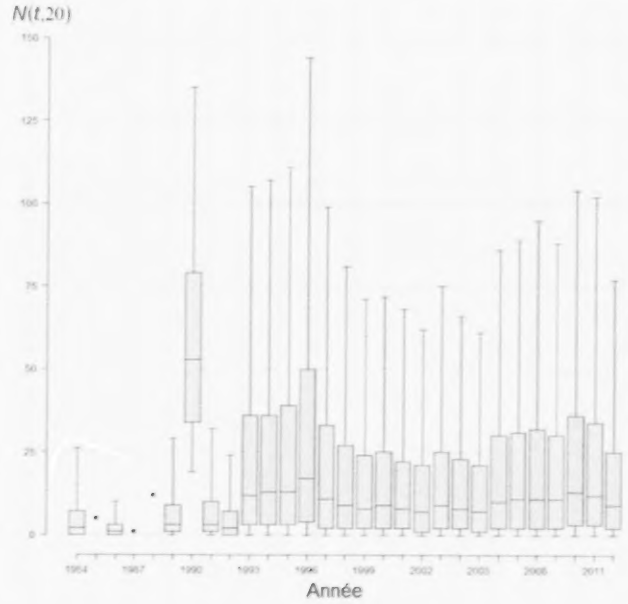


Figure A20.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Du Brick (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

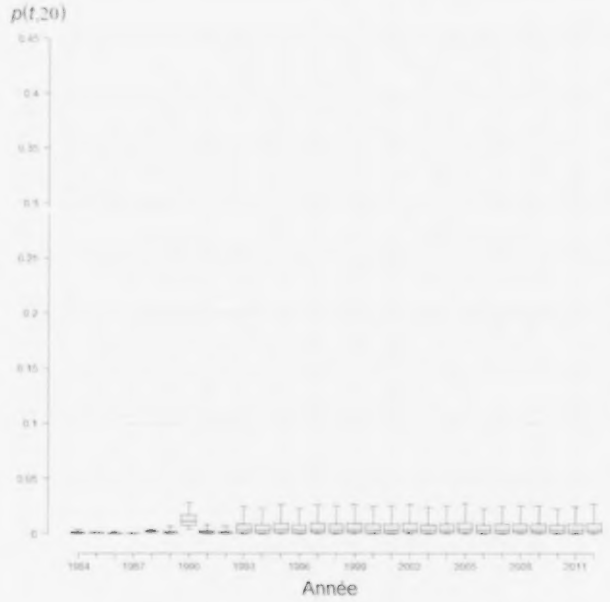


Figure A20.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Du Brick pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

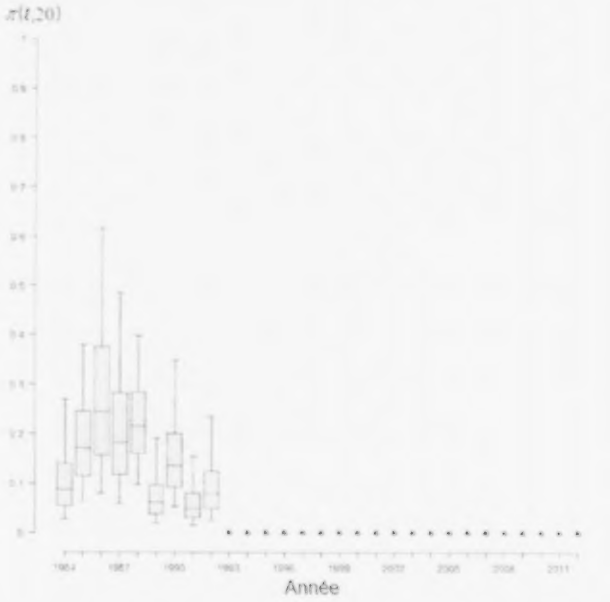


Figure A20.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Du Brick (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0.*

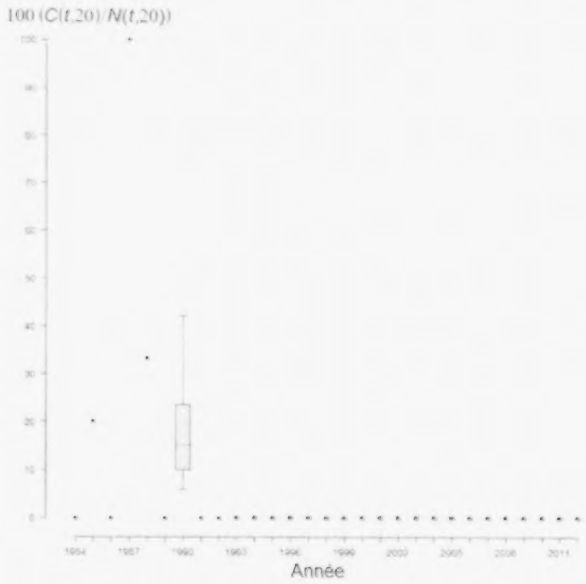


Figure A20.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Du Brick (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0.*

ANNEXE 21 RIVIÈRE JUPITER

Surface (en unité de production)	1 186 836
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(21)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,276 [0,259 ; 0,294]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(21)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,001 [0,001 ; 0,001]

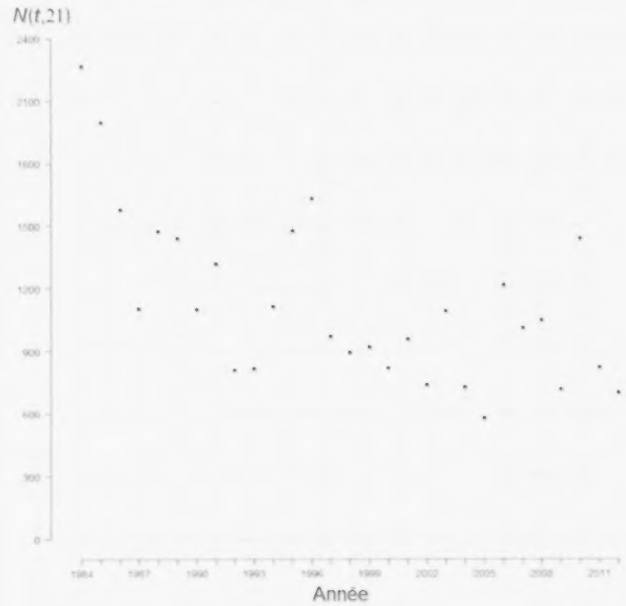


Figure A21.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes (données) de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Jupiter (île d'Anticosti, Québec).*

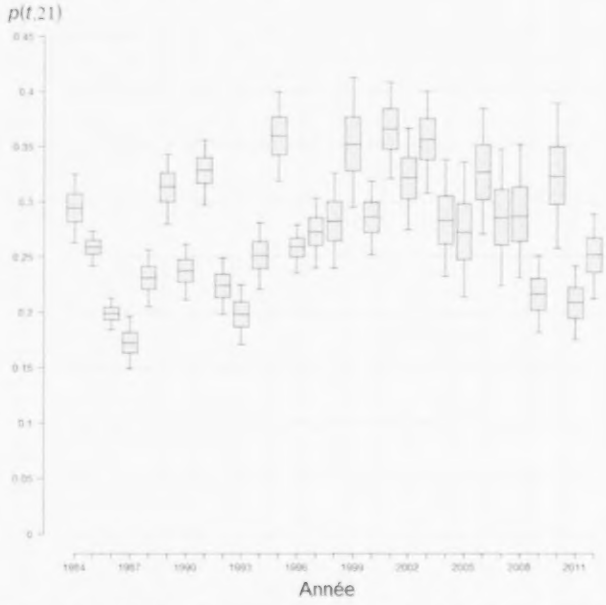


Figure A21.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Jupiter pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

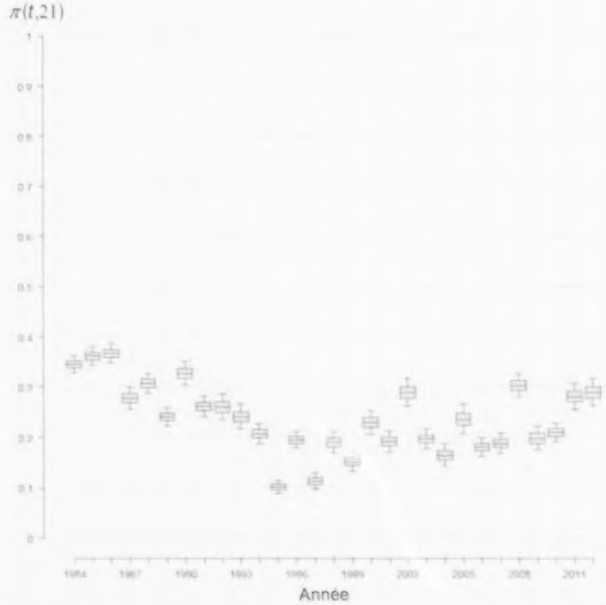


Figure A21.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Jupiter (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

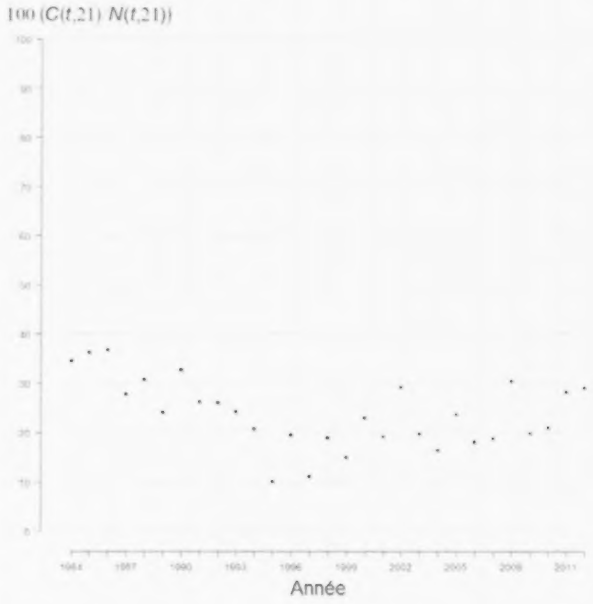


Figure A21.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Jupiter (île d'Anticosti, Québec). Couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 22 RIVIÈRE À LA LOUTRE

Surface (en unité de production)	137 147
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(22)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,051 [0,043 ; 0,059]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(22)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,001 [0,001 ; 0,001]

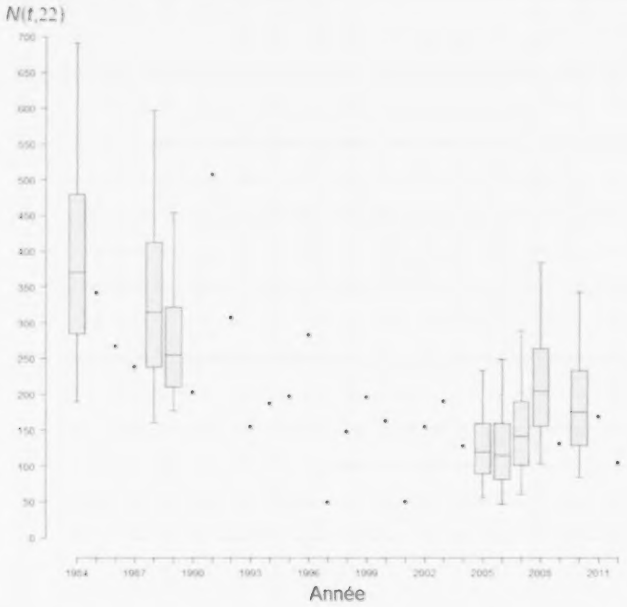


Figure A22.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière A la Loutre (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

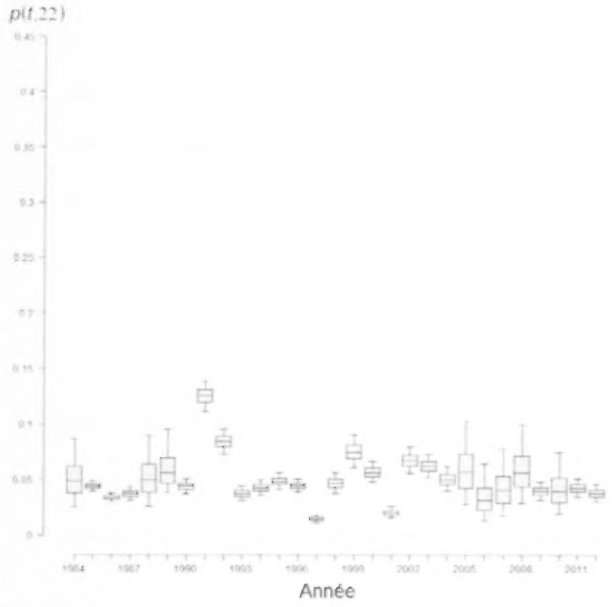


Figure A22.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière A la Loutre pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

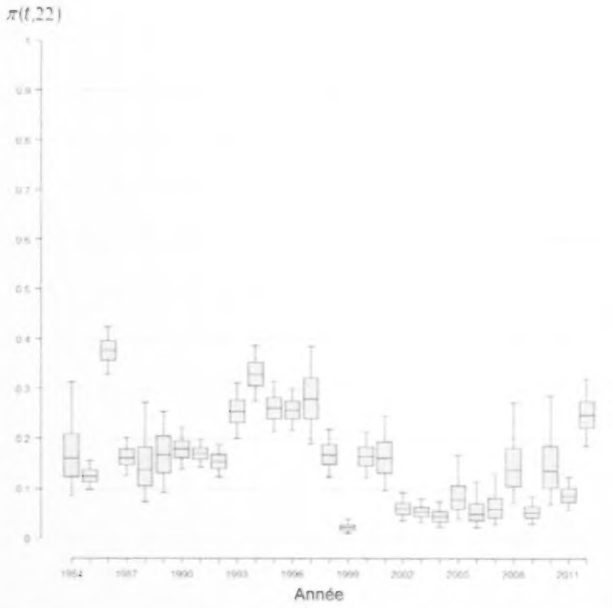


Figure A22.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière A la Loutre (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distribution marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

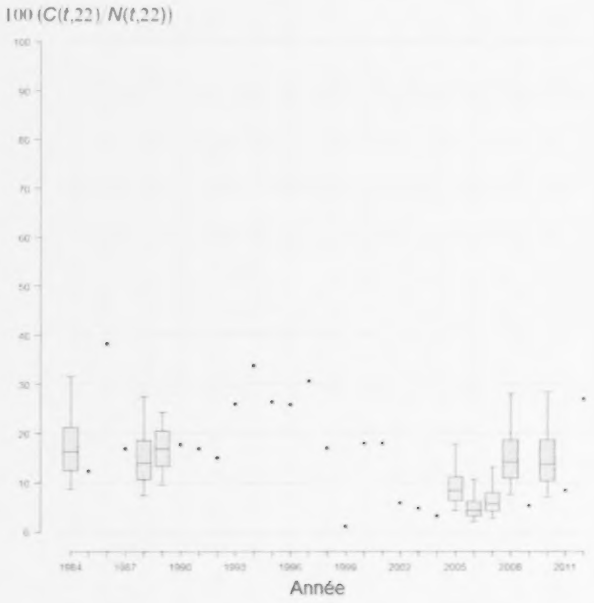


Figure A22.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière A la Loutre (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 23 RIVIÈRE AUX CAILLOUX

Surface (en unité de production)	108 829
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(23)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,018 [0,009 ; 0,034]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(23)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,001 [0 ; 0,002]

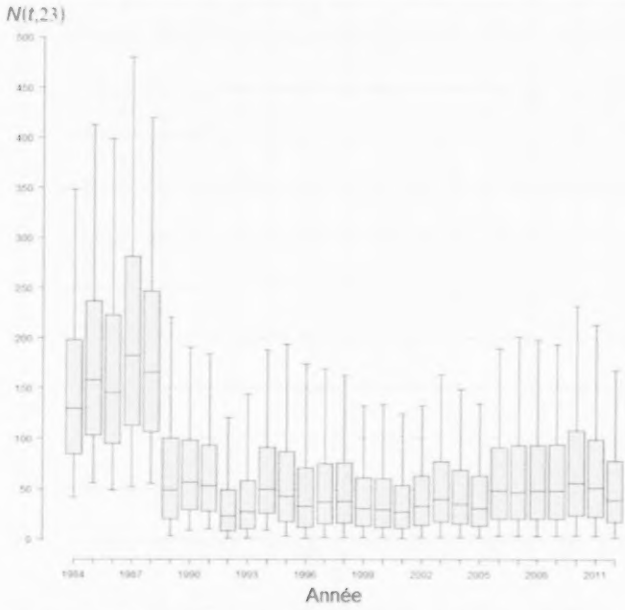


Figure A23.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Aux Cailloux (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti.*

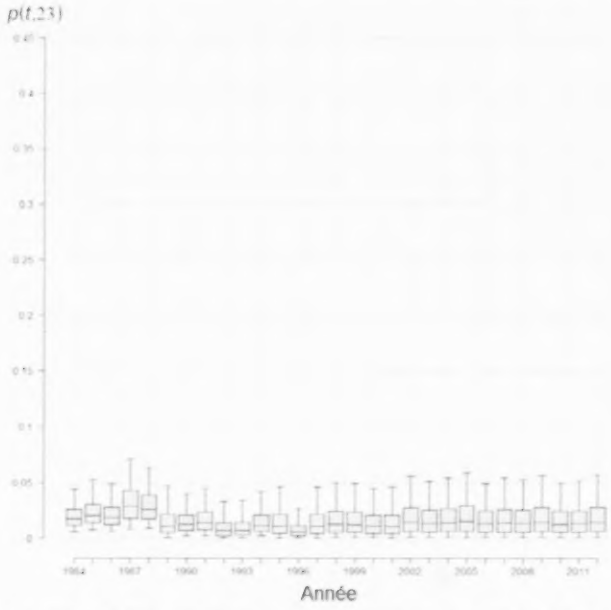


Figure A23.2. *Evolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Aux Cailloux pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

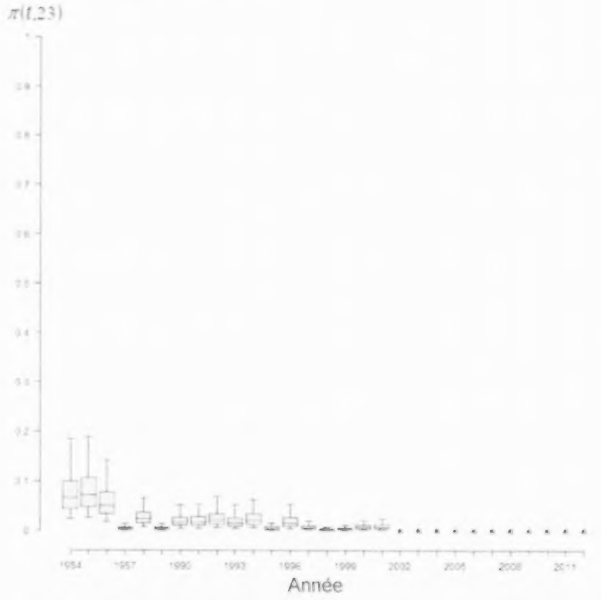


Figure A23.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Aux Cailloux (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

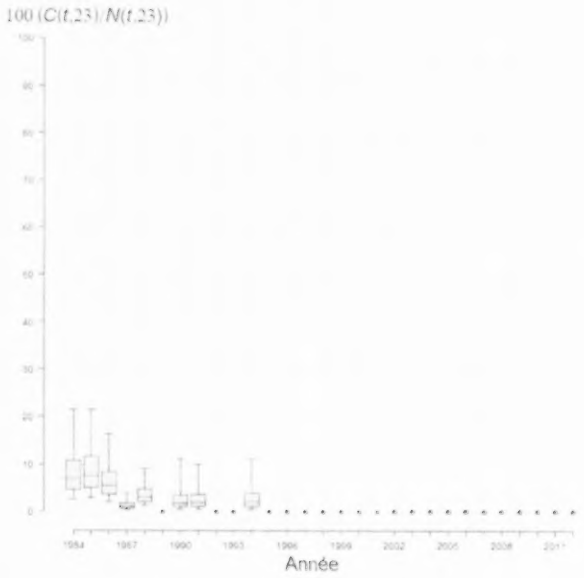


Figure A23.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Aux Cailloux (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 24 RIVIÈRE SAINTE-MARIE

Surface (en unité de production)	94 790
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(24)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,021 [0,011 ; 0,035]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(24)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,001 [0 ; 0,002]

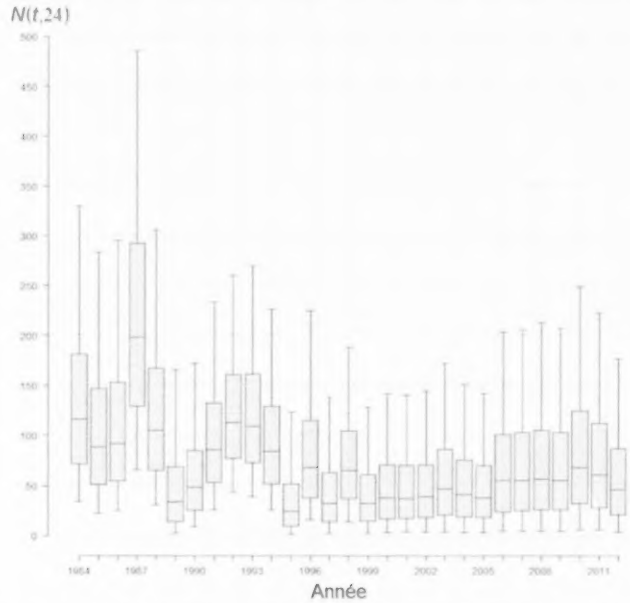


Figure A24.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Sainte-Marie (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti.*

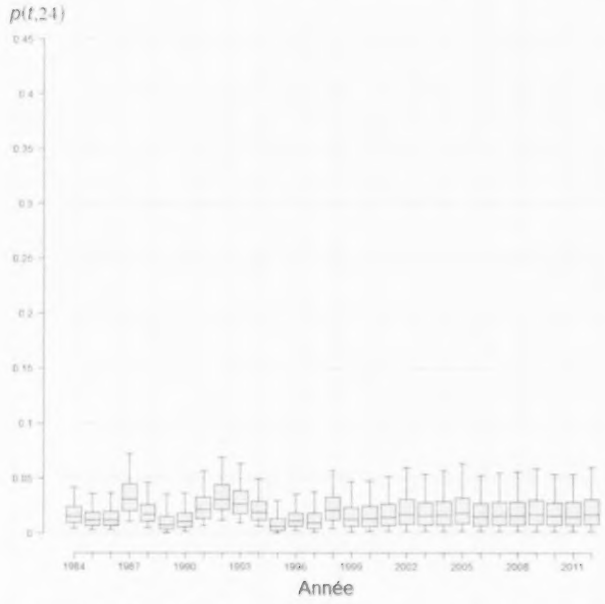


Figure A24.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Sainte-Marie pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Boxplots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

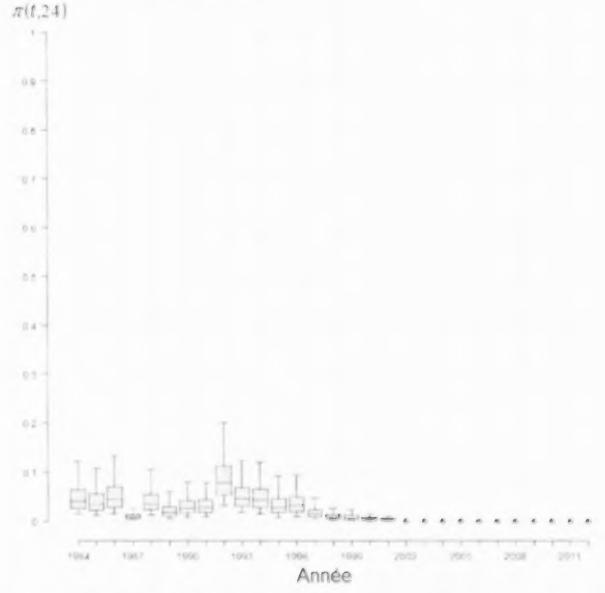


Figure A24.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Sainte-Marie (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

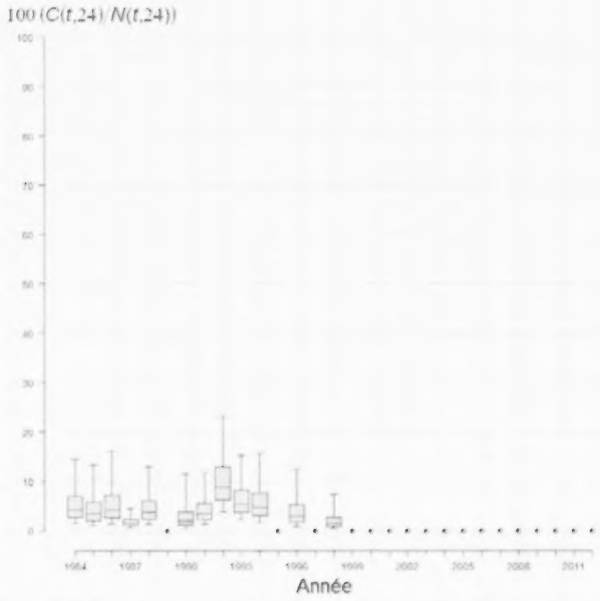


Figure A24.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Sainte-Marie (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

ANNEXE 25 RIVIÈRE BEC-SCIE

Surface (en unité de production)	82 495
Espérance de la probabilité de retour des adultes $\left(\frac{\alpha(25)}{\sum_{i=1}^{25}\alpha(i)}\right)$	0,031 [0,024 ; 0,038]
Espérance de la capturabilité $\left(e^{\gamma(25)+(\sigma_q^2/2)}\right)$	0,002 [0,001 ; 0,002]

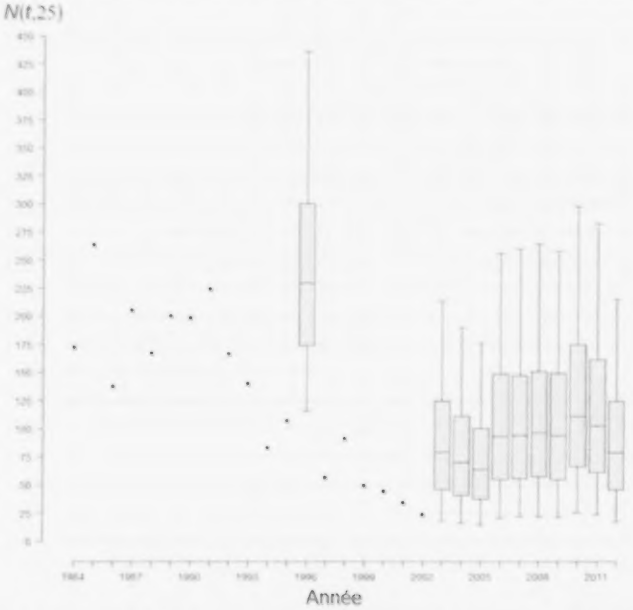


Figure A25.1. *Évolution de 1984 à 2012 des effectifs d'adultes de la population de saumon atlantique (Salmo salar L.) de la rivière Bec-Scie (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données.*

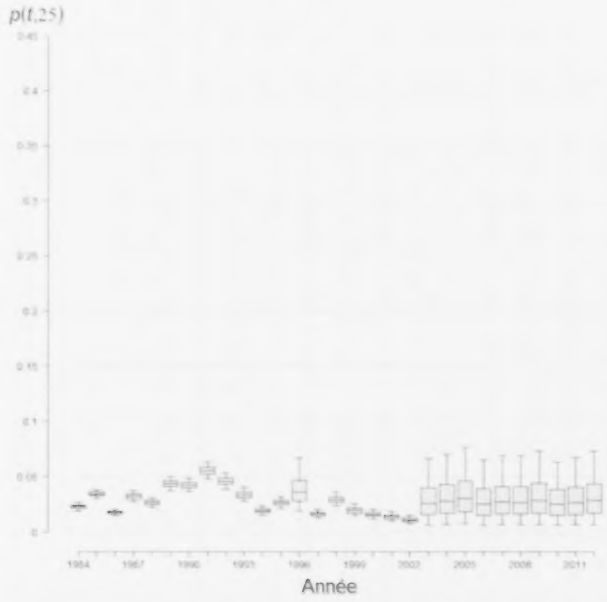


Figure A25.2. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de retour dans la rivière Bec-Scie pour les adultes de la métapopulation de saumon atlantique (Salmo salar L.) de l'île d'Anticosti (Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation.*

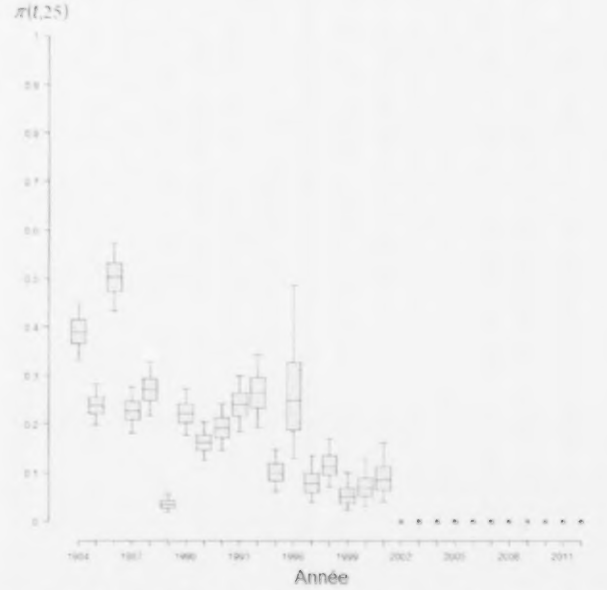


Figure A25.3. *Évolution de 1984 à 2012 des probabilités de capture par la pêche sportive dans la rivière Bec-Scie (île d'Anticosti, Québec). Box-plots : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 des distributions marginales a posteriori issues du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*

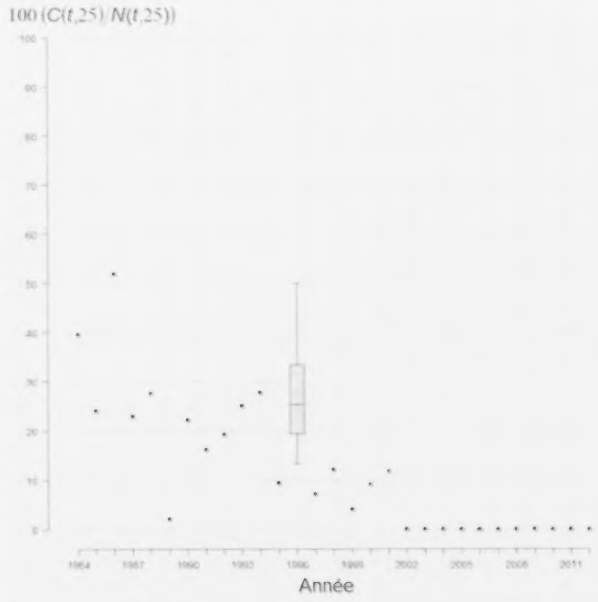


Figure A25.4. *Évolution de 1984 à 2012 des taux d'exploitation par la pêche sportive dans la rivière Bec-Scie (île d'Anticosti, Québec). Box-plot : percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 de la distribution marginale a posteriori issue du modèle sur la dynamique de renouvellement de la métapopulation de l'île d'Anticosti ; points : données ; étoiles : années pour lesquelles l'effort de pêche est égal à 0 ; couleur bleue : tous les individus sont ciblés par la pêche ; couleur rouge : seuls les individus de moins de 63 cm sont capturés, les autres étant remis à l'eau.*